



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KOVÁNÍ OZUBENÉHO KOLA

FORGING GEAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Šíma

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Vojtěch Šíma**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kování ozubeného kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ozubené kolo, které je vyrobené z konstrukční oceli je součástí převodového ústrojí zemědělského stroje. Kolo je tvořeno nábojem a věncem na němž je vytvořeno čelní ozubení s přímými zuby. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby řešené součásti.

Cíle bakalářské práce:

- Analyzovat možné způsoby výroby řešené součásti.
- Vybrat optimální technologii výroby a pro zvolenou výrobní technologii zpracovat literární studii.
- Sestavit technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Zpracovat výkresovou dokumentaci nástrojů.
- Zpracovat technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 2007, 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006, 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International. 2004, S.978. ISBN 0-87170-020-4

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-8-7213-580-2.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ŠÍMA Vojtěch: Zápustkové kování ozubeného kola.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B-STG řeší návrh technologie výroby výkovku – ozubeného kola pomocí zápustkového kování. Kolo je vyrobeno z materiálu 12 050.0 a je součástí zemědělského stroje. S přihlédnutím k výrobní sérii 45 000 ks za rok a k přesnosti výroby bylo pro výrobu zvoleno zápustkové kování na 3 operace. Kolo bude vyráběno na svislém kovacím lise LKZ 1600 P od firmy Šmeral Brno o jmenovité síle 16 MN. Zápustky jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli 19 552. Na závěr projektu bylo provedeno technicko – ekonomické zhodnocení výroby a porovnání technologie kování s technologií výroby součástí obráběním.

Klíčová slova: Ocel 12 050, zápustkové kování, ozubené kolo, zápustky

ABSTRACT

ŠÍMA Vojtěch: Drop forging of gear wheel.

The project elaborated in a frame of Bachelor's studies branch B-STG presents a technology design of a forged piece – gear wheel by drop forging. The wheel is made from 12 050.0 material and is a part of an agriculture machine. Considering the series of 45 000 pieces per a year and the precision of production, the drop forging for three operations was selected for production. The wheel will be produced on the crank drawing inclinable press LKZ 1600 P from Šmeral Brno, a.s. producer with nominal tensile force 16 MN. Swages are made of alloyed instrumental steel 19 552.8. At the end of the project technical economic evaluation of production and comparison of the forging technology and machining technology was implemented.

Keywords: 12 050 steel, drop forging, gear wheel, swages

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠÍMA, Vojtěch. *Zápustkové kování ozubeného kola*. Brno, 2017. 52 s, 7 výkresů, 15 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 27.5.2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování práce. Velké poděkování patří i mým rodičům a všem blízkým, kteří mne podporovali při studiu na vysoké škole.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
1 ÚVOD	10
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	11
2.1 Volba způsobu výroby	12
2.2 Volba materiálu	13
3 LITERÁRNÍ STUDIE KOVÁNÍ	14
3.1 Plastická deformace	14
3.1.1 Základní mechanismy plastické deformace	14
3.1.2 Činitelé ovlivňující plastickou deformaci	16
3.1.3 Druhy deformace při tváření kovů	17
3.2 Kování	18
3.2.1 Volné kování	19
3.2.2 Zápustkové kování	21
3.3 Konstrukce zápustkového výkovku	21
3.3.1 Volba dělicí roviny	21
3.3.2 Zařazení výkovku dle tvarové složitosti	22
3.3.3 Stupeň přesnosti a provedení výkovku	22
3.3.4 Přídavky na obrábění	22
3.3.5 Technologické přídavky	22
3.3.6 Dovolené rozměrové a tvarové úchytky	24
3.4 Zpracování polotovaru před zápustkovým kovááním	25
3.4.1 Dělení polotovaru	25
3.4.2 Ohřev materiálu před kovááním	26
3.5 Příprava a konstrukce zápustek	27
3.5.1 Materiál zápustek	27
3.5.2 Druhy zápustkových dutin	27
3.5.3 Tvar a rozměr výronkové drážky	28
3.5.4 Upínání zápustek	29
3.5.5 Ošetřování zápustek	30
3.6 Dokončovací operace výkovků	31

4	TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÉHO KOLA	34
4.1	Konstrukce zápusťkového výkovku	34
4.1.1	Poloha dělicí roviny	34
4.1.2	Zařazení výkovku dle tvarové složitosti	34
4.1.3	Stupeň přesnosti a provedení výkovku	34
4.1.4	Přídavky na obrábění	34
4.1.5	Technologické přídavky	34
4.1.6	Tvar a rozměry výronkové drážky	36
4.2	Návrh polotovaru	37
4.2.1	Objem výkovku	37
4.2.2	Rozměry a hmotnost polotovaru	39
4.3	Dělení polotovaru	40
4.4	Výpočet kovací síly	40
4.4.1	Výpočet síly z nomogramu	40
4.4.2	Kovací síla dle Brjuchanov – Rebelského	41
4.4.3	Kovací síla dle Storoževa	41
4.4.4	Kovací síla dle Tomlenova	42
4.4.5	Srovnání kovacích sil dle zvolených metod	45
4.5	Technologický postup kování	45
4.6	Konstrukce zápusťek	45
4.7	Dokončovací operace výkovku	46
4.7.1	Velikost ostříhovací síly	46
4.7.2	Tepelné zpracování výkovků	46
4.7.3	Čištění výkovků	47
4.8	Výběr strojů	47
5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	48
5.1	Náklady na výrobu obráběním	48
5.2	Náklady na výrobu zápusťkovým kovááním	49
5.3	Porovnání nákladů	51
6	ZÁVĚR	52

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

1 ÚVOD [3] [36]

Tváření je technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru polotovaru železných i neželezných kovů či změně vlastností materiálu za pomoci působení vnějších sil pomocí specifických nástrojů, aniž by došlo k porušení koherence. Během tohoto procesu roste v polotovaru napětí, které po dosažení meze kluzu způsobí plastické deformace. Technologie tváření se ve strojírenském průmyslu hojně využívá díky tomu, že přináší značné výhody oproti jiným technologiím hlavně v oblasti efektivnosti výroby a příznivosti mechanických vlastností materiálu.

Podle převažujícího stavu napjatosti v tvářeném materiálu se tvářecí procesy dělí na:

- **Plošné tváření:** polotovarem je plech, který je následně přetvářen do požadovaného tvaru za působení dvouosé napjatosti. Zahrnuje technologie tažení, ohýbání, stříhání, aj.
- **Objemové tváření:** polotovar s jednoduchým tvarem průřezu je trojose namáhán a výrazně přetvářen. Výsledná součást má větší plochu než polotovar. Materiál je tvářen pomocí technologií válcování, tažení drátů, protlačování, pěchování, kování, aj.

Kování je jedna z nejstarších technologií, která představuje způsob beztržkového objemového tváření kovů za tepla pomocí úderů nebo klidně působící síly. S postupem času se její proces zlepšoval, zefektivňoval a mechanizoval díky úpravě strojů a nástrojů a i dnes je stále využíváno například při výrobě těžkých součástí z důvodů příznivějších mechanických vlastností materiálu oproti třískovým technologiím a díky vysoké produktivitě práce a hospodárnosti výroby.

Práce pojednává o výrobě ozubeného kola s přímým ozubením pomocí technologie zápuštěkového kování.

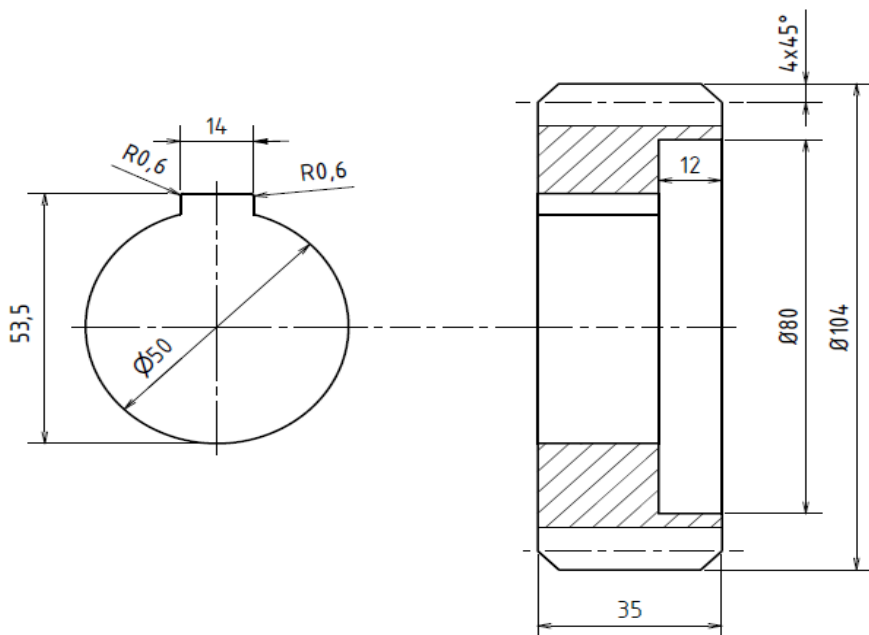


Obr. 1.1: Příklady užití technologie zápuštěkového kování [29] [40]

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [32] [33]

Práce pojednává o výrobě ozubeného kola, tvořeného nábojem a věncem s čelním ozubením s přímými zuby. Jejím cílem je výběr správné technologie výroby a sestavení technologického postupu, výkresové dokumentace a technicko-ekonomického rozboru.

Jde o válcovitou součást o výšce 35 mm a průměru 104 mm s pastorkem o průměru 50 mm, obsahujícím drážku o šířce 14 mm a zahlužení o průměru 80 mm. Náčrt zadané součásti je zobrazen na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Zadaná součást

Kolo je součástí převodového ústrojí zemědělského stroje, a proto je třeba přihlížet k vyšším požadavkům ohledně pevnosti při namáhání zubu na ohyb. Je potřeba také vybrat materiál o dostatečné tvrdosti povrchu, aby se zamezilo opotřebení povrchu zubů při vzájemném skluzu po sobě.

Ozubené kolo je možné vyrobit následujícími způsoby:

- **Slévání:** tato technologie nachází uplatnění při hromadné výrobě složitých součástí, nevýrobitelných jinými způsoby. Během procesu však v materiálu dochází kvůli nerovnoměrnému chladnutí taveniny ke vzniku hrubozrnné struktury, nežádoucích odmíšenin, k anizotropii materiálu a poruchám jeho souvislosti. Chladnutí také přináší riziko výskytu staženin a bublin. Výroba sléváním je vysoce energeticky náročná, vyžaduje nákladné investice na formy a nevyrábí součásti s mechanickými vlastnostmi o kvalitě srovnatelné s výkovkem.

- **Obrábění:** vlákna jsou na ploše vzorku výrobku rovnoběžná a jsou přerušena v místě přechodů. Díky tomu má materiál nižší pevnost, než kdyby byl tvářen. Obráběcí způsob ozubených kol vytváří velké množství odpadu a kvůli nízké produktivitě se používá převážně v kusové výrobě.

- **Kování:** jedná se o způsob tváření součásti pro sériovou a hromadnou výrobu s velkou úsporou materiálu. Makroskopická struktura materiálu má příznivý průběh vláken bez přeložek a přerušení. Jelikož toto rozložení vláken zlepšuje mechanické vlastnosti materiálu, zejména pevnost a houževnatost, jeví se tato technologie jako nejvýhodnější a byla vybrána pro výrobu zadané součásti. Nevýhodou této metody je vznik okují, vysoká energetická náročnost a náklady na výrobu zápustky.

2.1 Volba způsobu výroby [5] [12] [15] [25]

Vzhledem k výrobní sérii 45 000 ks a vyšším požadavkům ohledně pevnosti při namáhání zubu na ohyb byla zvolena pro výrobu součásti technologie kování.

Dále je potřeba vybrat příslušný tvářecí stroj. Volba stroje zásadně ovlivní následující konstrukci zápustek a způsob jejich vyplňování kovem. Tvářecím strojem pro objemové tváření za tepla je buchar, nebo lis.

Typy bucharů

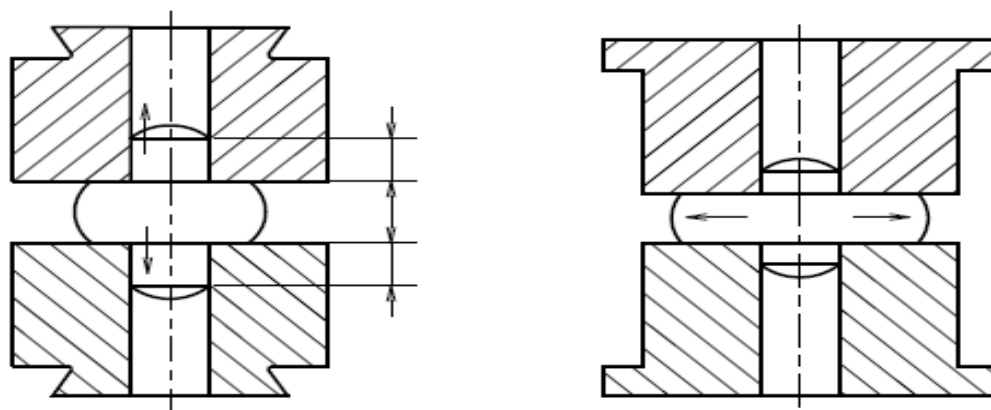
- Parovzdušné
- Padací
- Protiběžné

Typy lisů

- Vřetenové
- Svislé kovací lisy
- Vodorovné

Kování na bucharech: je výhodné především pro kování výkovků s výraznými změnami průřezu kování, drobných výkovků nebo výkovků o velké hmotnosti, pro výkovky s žebry či výstupky a slabostěnnými částmi. Buchary pracují rázem a vyhotovují výkovek zpravidla na několik úderů. Zápustková dutina je uzavřená a vyplňuje se postupně, přičemž dutina horní zápustky se v důsledku působení setrvačných sil vyplňuje lépe. Značnou výhodou těchto strojů je jejich široká využitelnost, poměrně malá energetická náročnost a opadávání okují důsledkem působení rázů, které zamezí zakovávání okují do materiálu, které poté výrazně méně trpí na otěr a díky tomu mají vyšší životnost. Z důvodů velkých rázů nejsou buchary vybaveny vyhazovači.

Kování na lisech: se na rozdíl od bucharů provádí pomocí působení klidného tlaku. Díky tomu se při operaci dosahuje rovnoměrného prokování materiálu v celém objemu. Během tvářecího procesu dochází k intenzivnímu radiálnímu tečení materiálu (viz obr 2.2). Proto se na lisech tváří převážně výkovky členité do šířky. Zápustka je méně tepelně ovlivněná, neboť je ve styku se žhavým materiálem pouze po dobu jednoho zdvihu, což prodlužuje její životnost. Mají také oproti bucharům přesnější vedení a díky možnosti použití vyhazovačů mohou mít výkovky menší úkosity, což přináší úsporu materiálu. Nevýhodou je vyšší nebezpečí zakovávání, proto je nutné jako první tvářecí operaci volit pěchování, při němž okuje z povrchu výkovku opadávají. Lisy díky průběžné síle nevyžadují tak mohutné základy a jsou jednodušší na obsluhu, přesto se ale využívají více při velkosériové výrobě kvůli vyšším nákladům na pořízení a zápustky.



Obr. 2.2: Tečení kovu při kování na bucharu (vlevo) a na lisu (vpravo) [12]

2.2 Volba materiálu [18] [23] [31]

S přihlédnutím k požadovaným vlastnostem součásti a navržené výrobní technologii byla vybrána ocel 12 050. Je dobře tvářitelná za tepla a vhodná pro výrobu hřídelů těžních strojů, ozubených kol, šneků, ozubených věnců, pístnic, řemenů, čepů a šroubů požadujících vysokou tvrdost povrchu při houževnatosti a pevnosti jádra. Chemické složení oceli je uvedeno v tabulce tab 2.1.

Tab. 2.1: Chemické složení oceli ČSN 12 050 [23]

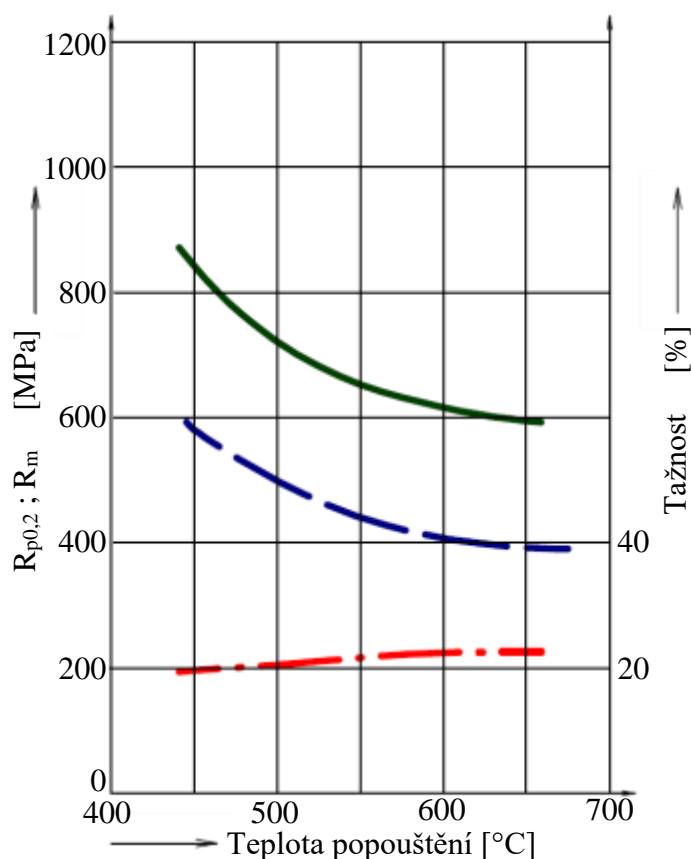
C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	P [%]	S [%]
0,42 – 0,50	0,50 – 0,80	max 0,40	max 0,40	max 0,10	max. 0,40	max. 0,045	max. 0,045

Pracovní teploty tepelných zpracování pro zvolenou ocel jsou uvedeny v tab 2.2.

Tab. 2.2: Tepelné zpracování oceli ČSN 12 050 [23]

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	800–1250	
Normalizační žíhání	840–870	Ochlazovat na vzduchu
Kalení	830–860	Ochlazovat v oleji
	800–830	Ochlazovat ve vodě
Popouštění	530–670	Ochlazovat na vzduchu
Žíhání na měkko	680–720	Pomalu ochlazovat v peci

Mechanické vlastnosti oceli ČSN 12 050 v závislosti na teplotě jsou uvedeny v diagramu na obr. 2.3.



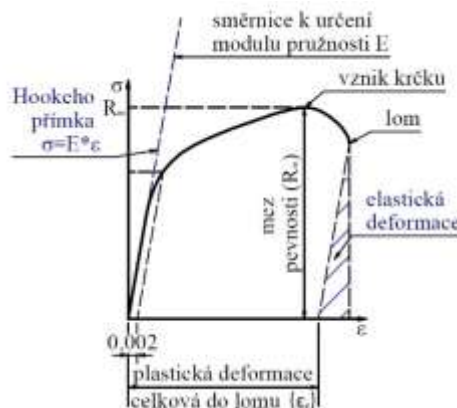
Obr. 2.3: Zušlechťovací diagram oceli ČSN 12 050 [31]

3 LITERÁRNÍ STUDIE KOVÁNÍ [4] [30] [39]

Kování se z technologického hlediska zařazuje mezi objemové tváření. Jedná se o hospodárnou metodu s malým množstvím odpadu, kterou lze jednoduše mechanizovat. Oproti obrábění, které produkuje až 80 % odpadu ve formě třísek, vzniká při kování pouhých 5 až 10 % odpadu. Proces kování je doprovázen vznikem plastických deformací způsobených vnějšími silami, které jsou za vysokých teplot vyvolávány rázem a nebo klidným působením pomocí kovacích nástrojů.

3.1 Plastická deformace [4] [20]

Podstatu plastické deformace je možné dokumentovat na diagramu tahové zkoušky, viz obr. 3.1. Při zatížení zkušební tyče dochází ke vzniku napětí. V případě, že jeho velikost překoná hranici meze kluzu, dochází k pohybu dislokací, což se projevuje nevratnými změnami tvaru a rozměrů zkušební tyče. Tohoto jevu využívá technologie tváření pro řízené přetváření materiálu do požadovaného tvaru. Řízený způsob vyvolání plastické deformace za účelem tváření je vysoce hospodárný a příznivý pro mechanické vlastnosti kovů, neboť v důsledku deformačního zpevňování zvyšuje jejich pevnost a houževnatost.



Obr. 3.1: Tahový diagram se smluvní mezí kluzu [20]

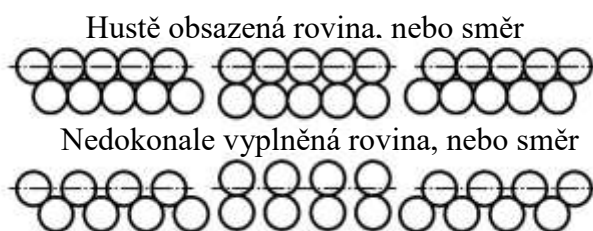
3.1.1 Základní mechanismy plastické deformace [4] [19] [20] [37]

K trvalé deformaci dojde po překročení meze kluzu, nebo dosažení tzv. kritického smykového napětí, pro které platí dle Frenkelovy teorie vzorec (3.1).

$$\tau_{kr} = \frac{G}{2 \cdot \pi} \quad (3.1)$$

Kde: G [MPa] – modul pružnosti ve smyku

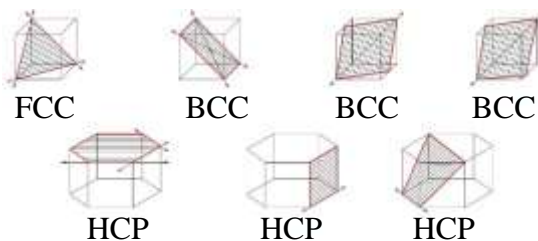
Jedná se o napětí, po jehož překročení se začne materiál deformovat viditelnou rychlostí. Materiál se po překročení meze kluzu sice deformuje, ale zároveň zpevňuje, neboť v daném okamžiku v materiálu dochází ke vzniku mřížkových poruch, které mají za následek zpevnění struktury kovu. Na rychlost deformace má vliv obsazení směru nebo roviny jednotlivými atomy, viz obr. 3.2.



Obr. 3.2: Přemístění atomů při překročení meze kluzu [20]

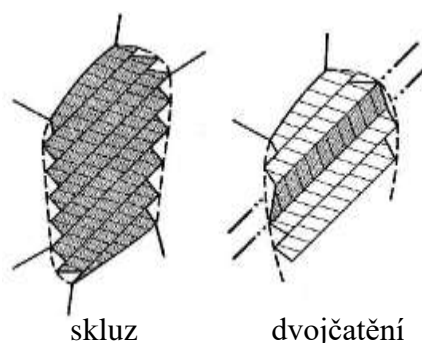
Základními mechanismy plastické deformace jsou:

- **Skluz:** vzniká v počátečním stádiu plastické deformace a je určen tzv. skluzovými systémy – rovinou skluzu a směrem skluzu. Směr skluzu je totožný se směrem nejhustěji obsazeným atomy a rovina skluzu je totožná s atomy nejhustěji obsazenou rovinou krystalické mřížky, (viz. obr. 3.3). Ze dvojice skluzových systémů je aktivní skluzový systém, který je optimálně orientovaný vůči vnějšímu zatížení tak, že je toto zatížení maximální. Skluz probíhá v nejhustěji obsazených rovinách z důvodu jednoduššího pohybu atomů a způsobuje poruchy krystalické mřížky zvané dislokace.



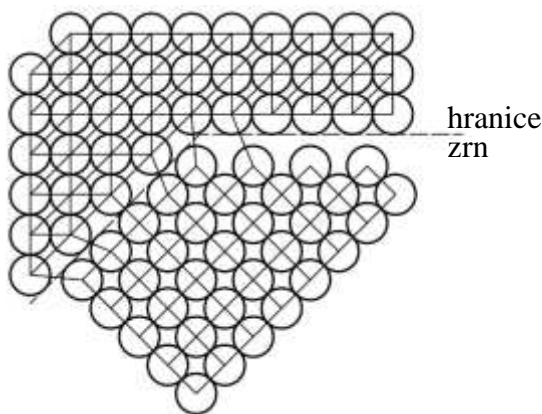
Obr. 3.3: Skluzový systém u vybraných krystalových mřížek [20]

- **Dvojčatění** (viz obr. 3.4): jedná se o druhý nejvýznamnější mechanismus plastické deformace, uplatňující se hlavně u kovů s FCC a HCP mřížkou. Vlivem vnějších sil se atomy v části krystalu přesunou o necelou meziatomovou vzdálenost. Vznikne tak část mřížky, natočená podle roviny dvojčatění do příznivé polohy pro následující vznik kluzu. Přesun atomů je způsoben pohybem neúplných dislokací a je podpořen vyšší deformační rychlostí a nižší teplotou tváření.

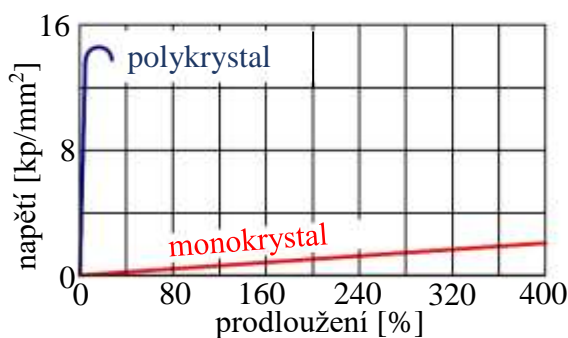


Obr. 3.4: Skluz a dvojčatění [20]

- **Deformace na hranicích zrn:** skutečná struktura materiálu není monokrystalická, nýbrž většinou ji tvoří shluk krystalů – mají tedy polykrystalickou mřížku. Taková struktura obsahuje nepravidelně rozložené, nestejně orientované a odlišné krystaly nebo některé atomy dokonce postrádá. Tato místa jsou odborně nazývána jako hranice zrn (viz obr. 3.5). Na hranicích zrn nedochází k jednoduché deformaci, ale deformaci složitě a velice rychle proměnlivé. Nerovnoměrné uspořádání krystalů způsobuje rapidní navýšení přetvárného odporu (viz obr. 3.6) a materiál je mnohem méně náchylný k deformaci.



Obr. 3.5: Schéma styku dvou zrn [19]



Obr. 3.6: Průběh napětí v závislosti na prodloužení pro polykrystal a monokrystal [19]

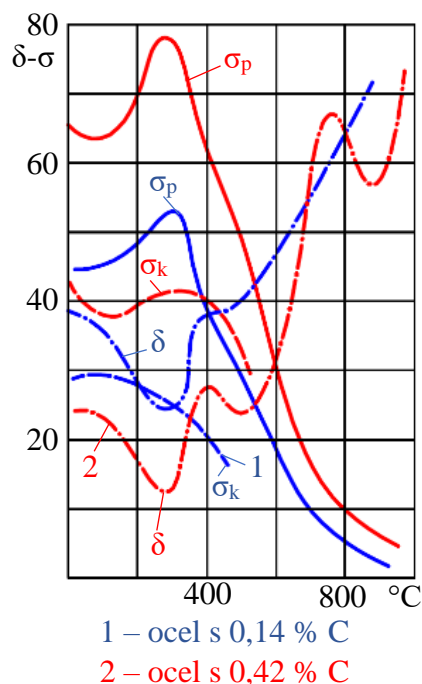
3.1.2 Činitelé ovlivňující plastickou deformaci [4] [16] [19] [20]

Vhodnost kovů k plastické deformaci můžeme posuzovat např. pomocí deformačního odporu, jehož velikost je ovlivněna mnoha činiteli. Proto je při přípravě polotovaru dobré na tyto faktory dbát. Těmito faktory jsou například:

- **Velikost zrn a struktura materiálu:** je dobré brát zřetel například na velikost zrn, protože více jemnozrná struktura je doprovázena vyšším deformačním odporem, neboť vykazuje větší počet hranic zrn, tvořících překážky pro pohyb dislokací. Stejně tak i rozdílná velikost sousedících zrn, nebo příznivá orientace krystalografických rovin klade malý odpor vůči kluzovým deformacím.

- **Chemické složení:** deformační odpory jsou ovlivňovány také chemickým složením kovu. Velice významným prvkem je uhlík, jehož vyšší procentuální obsah zvyšuje deformační odpory, což má za následek mnohem vyšší pevnost materiálu a nižší tvárnost, jak je patrné na obr. 3.7. Problémem každého kovu je přítomnost vměstků – hlavně sulfidů, oxidů a jejich směsí. Takovéto vměstky mají odlišné mechanické vlastnosti, malou soudržnost s matricí, způsobují snadno natavitelné síťové na hranicích zrna a zvyšují riziko vzniku trhlin.

- **Teplota:** při ohřívání výrobku dochází v materiálu ke značným strukturním a mechanickým změnám. U některých kovů může změna teploty vyvolat tzv. překrystalizaci, nebo také alotropii. Jedná se o změnu jedné krystalické mřížky v druhou z důvodu náhlé změny teploty. Změnu krystalické mřížky v závislosti na teplotě u železa znázorňuje tab. 3.1.



Obr. 3.7: Průběh mechanických hodnot v závislosti na teplotě [19]

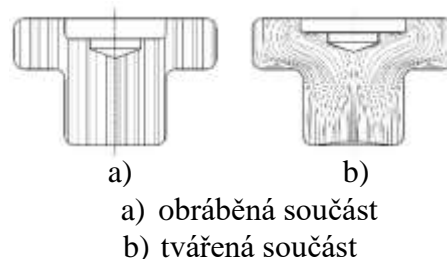
Tab. 3.1: Krystalové mřížky v materiálu v závislosti na teplotě [19]

Prvek	Teplota [°C]	Krystalická mřížka
α -Fe	pod 768	Krýchlová prostorově centrovaná (BCC)
β -Fe	678-768	Krýchlová prostorově centrovaná (BCC)
γ -Fe	906-1401	Krýchlová plošně centrovaná (FCC)
δ -Fe	1401-1539	Krýchlová prostorově centrovaná (BCC)

Na vlastnosti materiálu má také vliv rychlost změny teploty. Například rychlost ochlazování ovlivní strukturu zrna. Prudké podchlazení materiálu má za následek rychlý nárůst počtu krystalických zárodků a pomalou rychlost růstu krystalu – vznikne jemnozrná struktura, která má větší počet hranic zrn, tvořících překážky pro pohyb dislokací při plastické deformaci. Je tedy houževnatější. Naopak malé podchlazení zapříčiní malý počet zárodků a velkou rychlost růstu krystalu – tedy hrubozrnnou strukturu.

Při objemovém tváření hraje teplota důležitou roli – materiál má značně rozdílné mechanické vlastnosti. Během tváření za studena dochází vlivem různého směru ploch kluzu k nerovnoměrné deformaci. Vzniknou tak dislokace, z nichž některé působí jako zdroje vnitřního pnutí a brání v pohybu ostatním dislokacím, které se pak nahromadí a zapříčiní akumulaci deformační energie v krystalické mřížce. Materiál v takovém stavu se snaží dostat do polohy s nižší volnou energií, aby získal své původní vlastnosti, což je možné při zvýšení teploty. Při zvýšení teploty dochází v materiálu k jevům zvaným zotavení a rekrystalizace, během kterých dojde v materiálu ke snížení vnitřního pnutí a změně mechanických vlastností.

Z obr. 3.7 je patrné, že se zvyšující se teplotou se snižuje odpor proti tvárné deformaci σ_k . Kolem teploty 300 °C má materiál nepříznivé vlastnosti – tato oblast je nazývána jako oblast křehkosti a projevuje se zvětšenou pevností a sníženým ukazatelem tvárnosti. Důvodem takového chování je vyloučení karbidu na plochách kluzu, což je pro tváření nepřipustné. Je tedy nutné materiál ohřívat na vyšší teploty, za kterých dochází k výraznému poklesu pevnosti a zvýšení tvárnosti. Dalšími nebezpečnými oblastmi jsou oblast fázových přeměn, ve které dochází ke zvýšení napjatosti z důvodu přítomnosti dvou fází o rozdílných vlastnostech a oblast teplot blízkých teplotám tavení. Při těchto podmínkách se zhoršuje tvárnost vlivem značného růstu zrn, nebo spálení oceli. Z tohoto důvodu je velice důležité správně volit teplotu kovu během procesu tak, aby byly mechanické vlastnosti co nejvhodnější pro tváření. Při takovýchto teplotách dochází k rychlejšímu poklesu pevnosti a křehkosti u mezikrystalických vrstev než u zrn kvůli nižší teplotě tavení příměsí v těchto vrstvách. Příměsiny, které tuhnou naposled, pak tvoří obálku kolem primárních zrn tuhnutí oceli. Takováto zrna jsou během tváření deformována a zplošťována ve směru toku materiálu. Při teplotách kolem 40 % teploty tavení (teplota rekrytalizace) dochází k přeměně zrn v nové, nedeformované. Vměstky s nižší difusní rychlostí zůstávají v deformovaném stavu a při značném stupni deformace jsou zploštěny do nesouvislých plošných tvarů usměrněných dle toku materiálu, jevící se na výbrusu jako vlákna (viz obr. 3.8).



Obr. 3.8: Průběh vláken u obráběného a tvářeného materiálu [14]

3.1.3 Druhy deformace při tváření kovů [4] [19] [20] [37]

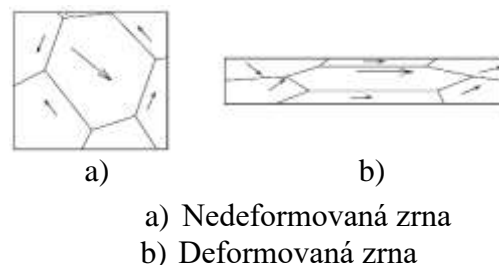
Na deformaci mají vliv mnozí činitelé a často zásadně ovlivňují mechanické vlastnosti kovu a způsobují v něm různé deformace. Podle převládajících činitelů lze tyto deformace rozdělit do několika základních skupin.

- **Deformace za studena:** probíhá do teploty 30 % teploty tavení. Struktura se deformuje (viz obr. 3.9) a vlákna se natahují ve směru toku materiálu. Dojde k nahromadění dislokací a zpevnění materiálu.

- **Deformace za studena se zotavením:** v rozmezích teplot $0,25 \cdot T_{\text{tav}}$ dochází k tzv. zotavení zrn. Během tváření za studena totiž dochází k přemísťování zrn a vzniku vnitřního pnutí. Zotavením nastane uvolňování některých dislokací do míst rovnováhy, odstraňují se největší poruchy a se snižují zbytková napětí bez změny struktury, rozměru a tvaru zrn.

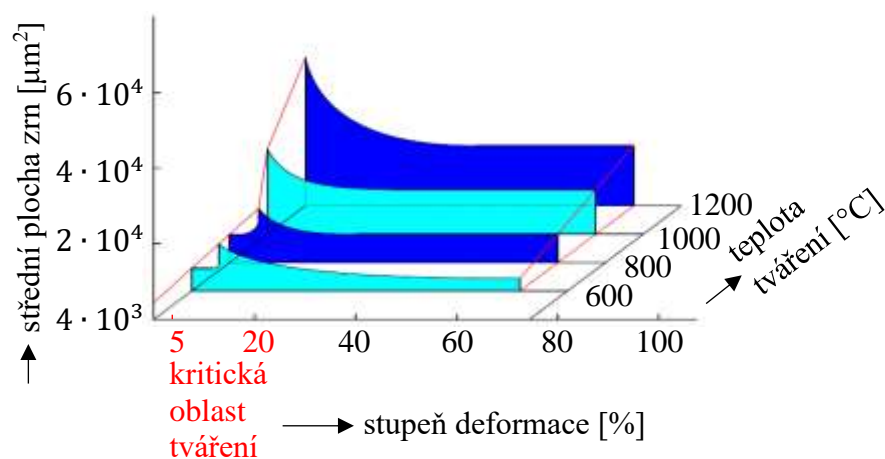
- **Deformace za tepla s částečnou rekrytalizací:** během této fáze při teplotách rekrytalizace cca $(0,35 - 0,45) \cdot T_{\text{tav}}$ probíhají v materiálu děje, upravující předchozí deformovanou strukturu na novou, nedeformovanou, bez změny modifikace. Rekrytalizace však není dostatečná, aby došlo k upravení celé struktury. V materiálu zůstane i část struktury bez rekrytalizace, se zrny prodlouženými ve směru tváření. Přítomnost obou struktur způsobí nerovnoměrnost deformace, zapříčínující zvýšení rizika poruch během zpracování (viz obr. 3.7). V praxi je nutné se této oblasti vyhnout, protože zhoršuje jakost výrobku, proto se těžko tváří slitiny s malou rychlostí rekrytalizace, důsledkem čeho se nestíhají deformovaná zrna napravovat.

- **Deformace za tepla:** při tomto druhu deformace probíhající při teplotách $(0,65 - 0,75) \cdot T_{\text{tav}}$ dojde k plné rekrytalizaci. Krystaly rostou z nových jader, tvořících se po hranicích zrn, nebo růstem fragmentů. Rychlost tvorby nových krystalů je závislá na teplotě



Obr. 3.9: Deformovaná struktura tvářeného materiálu za studena [4]

a stupni deformace. S rostoucí teplotou a stupněm deformace roste i rychlost rekrystalizace. Poměr mezi rychlostí deformace a rychlostí rekrystalizace pak určí vzhled výsledné struktury kovu. Rekrystalizace končí obnovou všech rovnoměrných krystalů. Během tváření za tepla je nutné dbát na zřetel na velikost zrna, která se odvíjí od teploty, stupni deformace a rychlosti deformace. Během rekrystalizace se může totiž stát, že se při určitém stupni deformace velikost zrna rapidně změní. Takovéto místo nazýváme kritický stupeň deformace. Kritický stupeň deformace odpovídá teplotám počátku rekrystalizace a je obvykle 8 až 10 % a zmenšuje se se stoupající teplotou. Závislost stupně deformace, teploty a velikosti zrna se zobrazuje na rekrystalizačních diagramech (viz obr. 3.10).

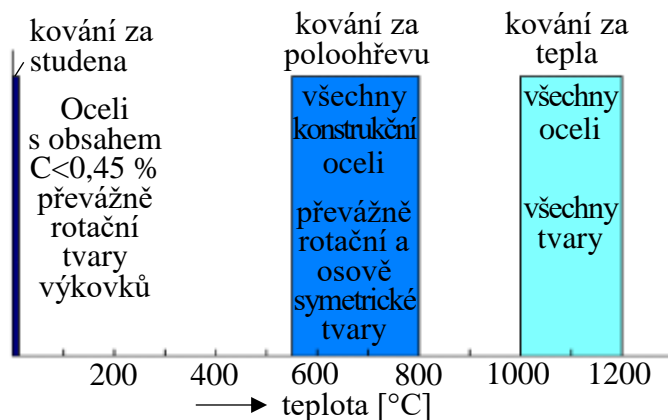


Obr. 3.10: Rekrystalizační diagram [37]

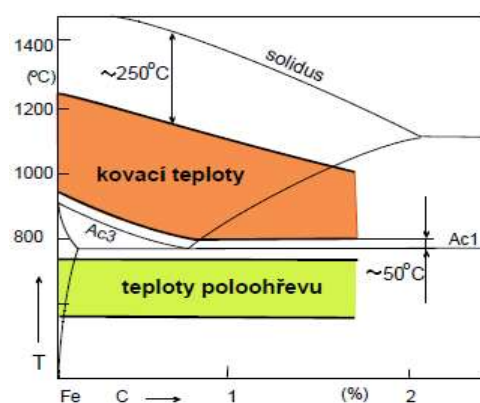
3.2 Kování [1] [14] [19] [37] [24]

Přestože se pod pojmem kování zpravidla rozumí tváření za vysokých teplot nad teplotou rekrystalizace, uskutečňuje se dnes kování i při teplotách nižších. Kování se dle teploty dělí téměř obdobně jako druhy deformace. Konkrétně na kování za studena, za poloohřevu a za tepla (viz obr. 3.11).

Za studena se kovají převážně rotační tvary výkovků a oceli s obsahem uhlíku nižším než 0,45 %. Kování za poloohřevu, probíhajícího za teplot pod teplotou A_{c1} se zpravidla využívá pro všechny konstrukční oceli rotačního a osově symetrického tvaru. Přibližně 50 $^{\circ}\text{C}$ nad teplotou rekrystalizace a 250 $^{\circ}\text{C}$ pod křivkou solidu se nachází oblast pro kování za kovací teplot (viz obr. 3.12). Další rozdělení kovací technologie je dle toku materiálu v nástroji na volné kování a zápuštkové kování.



Obr. 3.11: Dělení kování dle teplot [14]



Obr. 3.12: Tvářecí teploty oceli [14]

3.2.1 Volné kování [1] [19] [36] [37] [39]

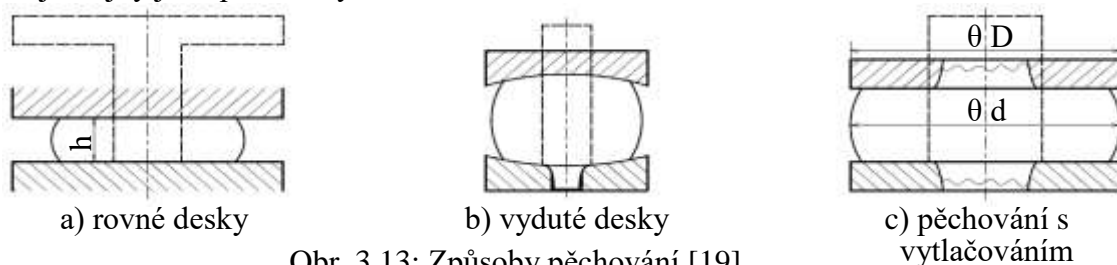
Této technologii se využívá při sériové i kusové výrobě součástí do hmotnosti až 300 tun. Výchozím polotovarem jsou předvalky, nebo ingoty.

Požadovaného tvaru výkovku se dosahuje využitím základních kovářských operací, při kterých se používají kovádla a pomůcky, např. kovádla, kovátko, příložky, sekáčky, průbojníky, nástavce, kalibrovací a kovací trny, objímky, vidlice, kleště a hmatadla. Mezi nejdůležitější operace volného kování řadíme:

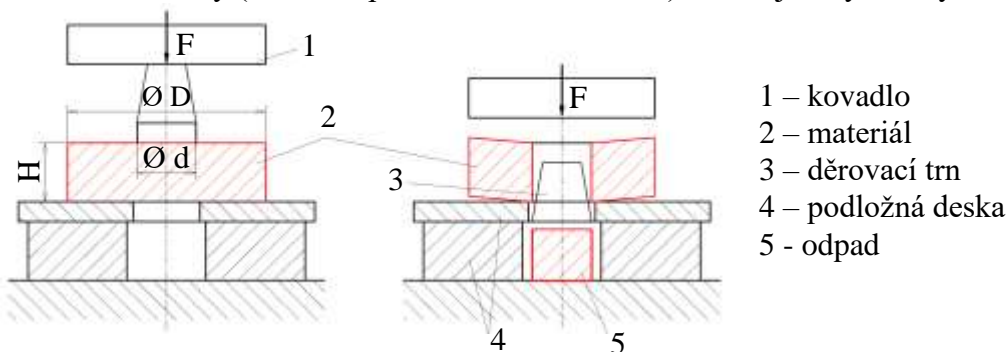
- **Pěchování:** jedná se o nejjednodušší tvářecí přetvárný proces, při kterém dochází k plastické deformaci materiálu mezi dvěma plochými nebo tvarovými čelistmi, působícími silou ve směru osy. Silově a energeticky se však jedná o nejnáročnější kovářskou operaci. Výsledkem je dílec s rozšířeným příčným průřezem a soudečkovitým tvarem oproti původnímu válcovitému polotovaru. Pěchovat lze zpravidla pouze dílce o délce maximálně 2,5 až 3krát větší, než je jejich největší průměr. V jiném případě dojde ke přeložení materiálu jako důsledku ztráty stability a ohnutí. Výhody, které pěchování přináší jsou: zvětšení příčného průřezu a snížení výšky jako příprava pro prodlužování, snížení anizotropie mechanických vlastností vzniklých při jednosměrném kování, získání děrovaných předkovků pro následující kování na trnu a rozrušení karbidů pro kování nástrojových ocelí.

Pěchovací nástroje mohou být různých tvarů. Pěchovací desky (obr. 3.13a) slouží pro díly bez další manipulace. Nástroje pro dílce, se kterými se bude následně manipulovat jsou vyduté desky s vybráním ve spodní desce pro manipulační čep (obr. 3.13b).

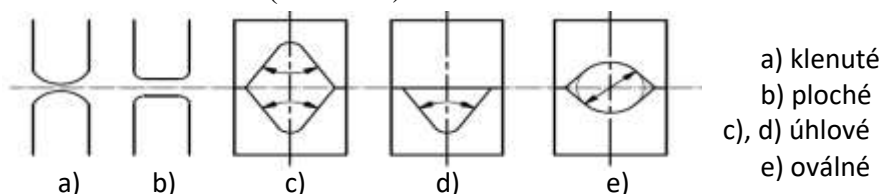
Takový tvar usnadní tok materiálu v ose výkovku a zvyšuje tlakovou napjatost, ovšem zvyšuje také přetvárný odpor. Výkovky s nábojem a jinými výčnělky se zhotovují ve tvarovaných deskách s otvory s úkosy 5 až 7° (obr. 3.13c) pro lepší tok kovu. Vnější průměr desek je stejný jako průměr výkovku.



- **Děrování** je kovářskou operací, během které dojde k děrování polotovaru pomocí děrovacího trnu, na který se působí silou kovádla. Malé otvory lze děrovat přímo na podložné desce s otvorem (viz obr. 3.14). Středně velké otvory (průměr do 400 mm) se děrují pomocí plného trnu mírně kuželovitého tvaru, jehož průměr nesmí být větší než třetina největšího průměru předkovku a je vtlačován asi do dvou třetin výšky dílce. Pro vyhotovení průchozí díry je třeba po prvním děrování dílec otočit a prorazit zbytek materiálu na dně otvoru širší stranou průbojníku. Velké otvory (větší než průměr 300 až 500 mm) se děrují dutými trny.

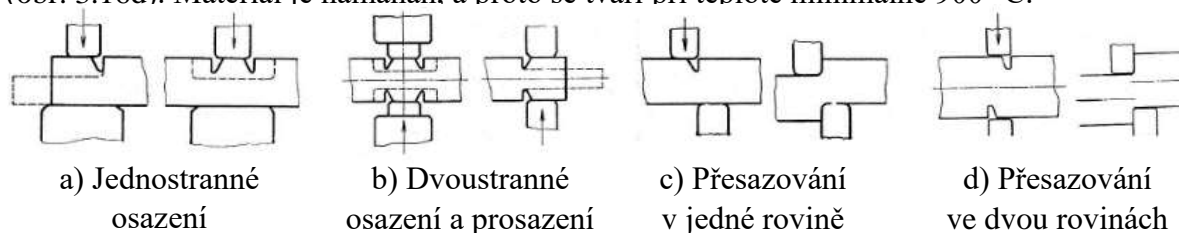


• **Prodlužování:** jedná se o nejčastěji používanou metodu volného kování, která prodlužuje původní polotovaru a zmenšuje jeho průřez. Při prodlužování nemá být poměr výšky k šířce průřezu více než 2 až 2,5, aby nedošlo k prohýbání. Přílišnému rozšiřování průřezu se zabráňuje otáčením polotovaru a zmenšením šířky kovádla. Zvláště výhodné je využití tvarových kovádel, zabráňujících rozšiřování kovu (obr. 3.15).



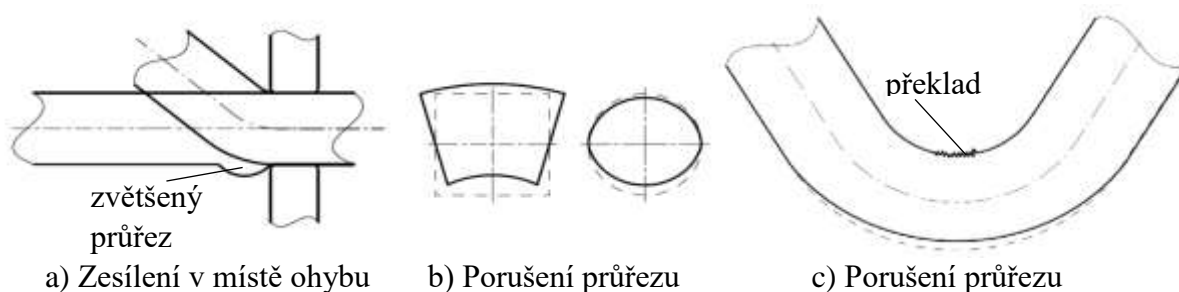
Obr. 3.15: Druhy prodlužovacích kovádel [19]

• **Sekání, osazování a prosazování:** místo, kde se bude průřez měnit nebo přemísťovat se označí a příložkou se udělá zásek hluboký do úrovně osazení. Poté se kovádem udělá osazení (jednostranné viz obr. 3.16a, oboustranné viz obr. 3.16b), které postupně zmenší průřez na velké části výkovku, prosazení působící změnu průřezu na menší ploše (může být i uprostřed, pokud se předtím provedou dva záseky), nebo přesazení, které průřez posune tak, aby osa přesazené části zůstala rovnoběžná s původní. Přesazuje se buď v jedné rovině (obr. 3.16c), nebo ve dvou (obr. 3.16d). Materiál je namáhán, a proto se tváří při teplotě minimálně 900 °C.



Obr. 3.16: Způsoby osazování, prosazování a přesazování [19]

• **Ohýbání:** pomocí speciálních přípravků se materiál tváří tak, že se mění jeho osa ze zpravidla rovné křivky na zahnutou a mění se průřez materiálu (viz obr. 3.17b). Na vnější straně dochází k tahovým napětím, což přináší riziko vzniku trhlin. Tomu se zabráňuje návrhem většího průřezu polotovaru v místě ohybu na natahující se straně (viz obr. 3.17a). Na vnitřní straně se naopak vlákna hromadí a vzniká tlakové napětí, mající za následek vznik překládů (viz obr. 3.17c).



Obr. 3.17: Ohýbání [19]

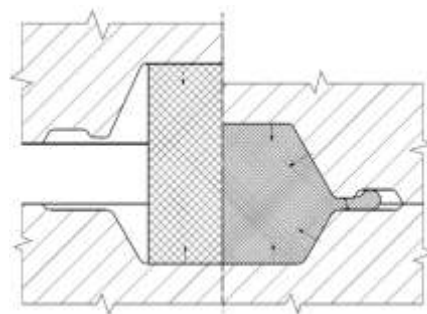
• **Zkrucování:** jeden konec výkovku se zpravidla sevře do čelistí a druhý konec se vidlicí zkrucuje. Délka materiálu se zkracuje a průřez se většinou zvětšuje. Je důležité, aby byl materiál rovnoměrně prohrátý. U zalomených hřídelů, vzniklých přesazováním, by neměl být úhel zkrucování větší než 60 až 90°. Při tomto procesu dochází také k ohybu volného konce, čemuž se zabráňuje upnutím do lunet.

3.2.2 Zápustkové kování [17] [19] [36] [37]

Jedná se o strojní způsob tváření kovů, při kterém se polotovar ohřátý na kovací teplotu vtlačí tlakovým rázem bucharu nebo průběžným tlakem lisu do nástroje – zápustky. Zápustka je zpravidla dvojdílná forma s dutinou ve tvaru výkovku, zvětšená o hodnotu smrštění vychladlého kovu.

Kolem celé dutiny je v tzv. dělicí rovině zápustek vytvořena výronková drážka, do které zateče v poslední fázi kování přebytečný materiál polotovaru, (viz obr. 3.18). Existuje však i metoda bezvýronkového kování neboli kování v uzavřené zápustce. Tato metoda se v posledních letech využívá při kování jednoduchých, zejména rotačních tvarů výkovků za poloohřevu, nebo za studena. Je však spojena s řadou komplikací jako je požadavek na zajištění přesného polotovaru, apod.

Oproti volnému kování je tato technologie sice přesnější, i přesto je však mnohdy nedostačující a součást se poté ještě dokončuje obráběním, nebo se kalibruje. Zápustkovým kovářím se vyrábí součásti různých tvarů a převážně velké série.



Obr. 3.18: Schéma zápustek [17]

3.3 Konstrukce zápustkového výkovku [5] [19]

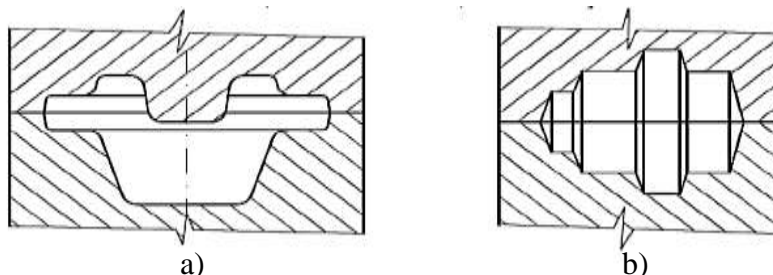
Při konstrukci výkovku se vychází z výkresu konečné součásti, ze kterého se dále určí:

- dělicí rovina
- zařazení dle tvarové složitosti
- přídavky na obrábění
- technologické přídavky
 - boční úkopy, zaoblení hran a přechodů, kovací blána
 - minimální tloušťka dna a stěn výkovku
- úchytky a tolerance rozměrů a tvaru

3.3.1 Volba dělicí roviny [4] [12] [25] [36]

Jedná se o plochu stanovenou oblastí doteku spodní a horní zápustky a plochu, do které se umísťuje výronek (viz obr. 3.19). Pravidla pro umístění roviny jsou následující:

- v případě symetrických výkovků se rovina umísťuje do roviny symetrie
- v případě nesymetrických výkovku se rovina umísťuje tak, aby větší část výkovku ležela v horní zápustce.
- rovina má usnadňovat tok materiálu a kladně ovlivnit průběh vláken
- vlákna materiálu směřují kolmo k dělicí rovině
- rovina musí zajistit snadné vyjímání výkovku ze zápustky
- volba umístění roviny by měla umožnit dokonalé ostřížení výronku
- rovina se nastaví tak, aby obráběné plochy ležely kolmo ke směru tváření



Obr. 3.19: Umístění dělicí roviny [4]

3.3.2 Zařazení výkovku dle tvarové složitosti [5] [6] [14] [36]

Každý výkovek se při konstrukci zařazuje do různých kategorií podle složitosti jeho tvaru. Takovéto rozdělení zjednoduší tvorbu technologického postupu a konstrukci zápustek. Pro dělení zápustkových výkovku existuje norma ČSN 42 9002, která rozděluje výkovky pomocí pěti čísel. Tato norma je znázorněna v příloze 1: Zařazení výkovků dle tvarové složitosti.

3.3.3 Stupeň přesnosti a provedení výkovku [5] [8]

Z důvodu prodražení výroby není vhodné předepisovat zbytečně vysokou přesnost, spíše se v praxi volí co nejméně přesné provedení, které stále splňuje podmínky funkčnosti. Stupeň přesnosti výkovku se stanovuje na základě složitosti tvaru (norma ČSN 42 9002) z normy ČSN 42 9030.

Přesnost provedení se označuje:

ČSN 42 9030.1 – obvyklé provedení

ČSN 42 9030.2 – přesné provedení

ČSN 42 9030.3 – velmi přesné provedení

ČSN 42 9040.4 – provedení dle dohody

3.3.4 Přídavky na obrábění [5] [8] [19]

U součástí určených k cementování, povrchovému kalení či nitridování, vyžadujících velkou rozměrovou přesnost, jakost a hladkost povrchu je nutné po objemovém tváření za tepla jejich povrch ještě obrábět, neboť je značně znehodnocen zoxidovanými částicemi zvanými okuje.

Okuje jsou během tváření zakovány do povrchu a způsobují jeho špatné mechanické vlastnosti a velkou drsnost. Obvykle se odstraňují mořením, pískováním, nebo otloukáním v bubnu. Další činitelé, kteří znehodnocují povrch výkovku jsou povrchové vady a oduhličení, které vzniká do určité hloubky. Tato vrstva se následně odstraňuje obráběním.

Z ekonomického hlediska se však obrábějí pouze plochy důležité pro funkci součásti a do hloubky nezbytně nutné. Hloubka této vrstvy se nazývá přídavek na obrábění a stanovuje se na základě normy ČSN 42 9030 podle rozměrů hotové součásti.

3.3.5 Technologické přídavky [5] [8] [19] [21]

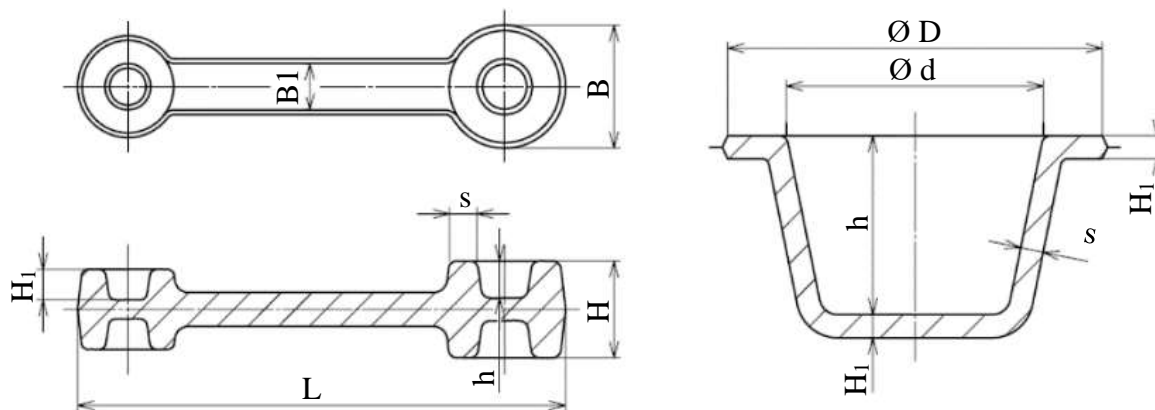
Rozměry finální součásti nelze zpravidla vykovat na hotovo, ale je třeba jej zjednodušit a přizpůsobit možnostem technologie zápustkového kování. Na zápustkovém výkovku se tak vyskytují technologické přídavky, které předepisuje např. ČSN 42 9030:

- zaoblení hran a přechodů
- tloušťka dna a stěny výkovku
- boční úkosy
- dovolené deformace ustřižených konců

• **Zaoblení hran a přechodů:** každé hraně a přechodu na výkovku je nutné předepsat určité zaoblení, které slouží k ochraně zápustky, výkovku i stroje. Díky zaoblením se zmenší odpor při tečení materiálu v zápustce, sníží se nebezpečí vzniku vrubových trhlin u kořene hlubokých dutin a zmenší se četnost vzniku přeložek, což sníží síly potřebné k vyhotovení součásti. Daný technologický přídavek má pozitivní účinek také na manipulaci s výkovkem, neboť umožňuje jeho snadnější vyjmutí z dutiny zápustky.

Z pohledu ochrany součásti a zápustky by bylo nejvhodnější volit zaoblení co největší, z ekonomického hlediska však větší zaoblení zvyšuje spotřebu materiálu. Je tedy vhodné najít mezi těmito dvěma požadavky kompromis. Přesné hodnoty zaoblení a přechodů určuje norma ČSN 42 9030, podle které se určuje velikost zaoblení v závislosti na poměru výšky ku průměru u každé dutiny zvlášť.

• **Tloušťka dna a stěny výkovku:** z hlediska namáhání zápustky a její životnosti je nutno určit minimální tloušťku dna (H_1) nebo blány a tloušťky stěny výkovku (s) (viz obr. 3.20). Příliš tenkou stěnu výkovku je potřeba rozšířit, aby se zpomalil únik tepla z materiálu a nebyly ve výkovku příliš velké rozdíly teplot, které by nepříznivě působily na tok materiálu. Velikost nejmenší tloušťky dna, disku (H_1) a stěny (s) se stanovují dle normy ČSN 42 9030 na základě největšího rozměru výkovku (B), (D) a největší výšky hotového výkovku (H).

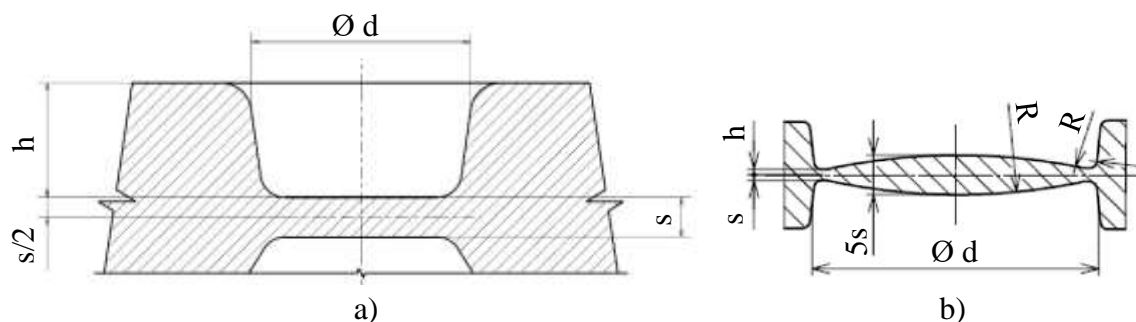


Obr. 3.20: Nejmenší tloušťka dna a blány u jednotlivých výkovků [8]

V případě součástí s průchozí dírou není možné výkovek zhotovit i s průchozím otvorem. Nechává se zde proto tzv. blána a díra se pouze předkove do její úrovně (viz obr.3.21a). Blána se po vykování odstříhne na ostříhovacím lisu spolu s výronkem. Její tloušťku lze předběžně vypočítat dle vzorce (3.2). U nízkých a rozměrných výkovků tvaru kotoučů se vyplatí vykovat blány s vtlačeným kovem ve tvaru kapsy, aby se zabránilo vzniku přeloženin (viz obr. 3.21b).

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{d - 0,25 \cdot h_d - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{h} \quad [\text{mm}] \quad (3.2)$$

Kde: s [mm] – tloušťka kovací blány
 d [mm] – největší průměr dutiny
 h_d [mm] – hloubka dutiny výkovku



Obr. 3.21: Tvar a rozměry kovací blány [21]

• **Úkosity zápustkových výkovků:** tento druh přídatku umožňuje, rovněž jako zaoblení hran, jednodušší vyjmutí výkovku ze zápustkové dutiny. Z hlediska smrštění výkovku lze úkosity rozdělit na vnitřní a vnější, přičemž vnitřní úkosity jsou zpravidla větší než vnější. Důvodem je smrštění materiálu při chladnutí, které by mohlo zhoršit sejmutí součásti z trnu. Větší úkosity ulehčují vyjmutí výkovku, ale zvyšují náklady na spotřebu materiálu. Proto je jejich optimální velikost určena normou ČSN 42 9030. Buchary a lisy bez vyhazovače mají větší úkosity než lisy s vyhazovačem.

3.3.6 Dovolené rozměrové a tvarové úchytky [5] [8]

Mezní úchytky jsou rozdíly rozměrů od jmenovitých rozměrů výkovku jako jsou délka, šířka, výška, tloušťka nebo průměr. Úchytkou od tvaru je myšlena změna zaoblení rohů a hran, přesazení, otřep, sestřížení, jehla, nesouosost hlubokých otvorů, prohnutí nebo stopy po vyhazovačích. Součet všech úchytek nesmí přesahovat velikost přídatku na obrábění.

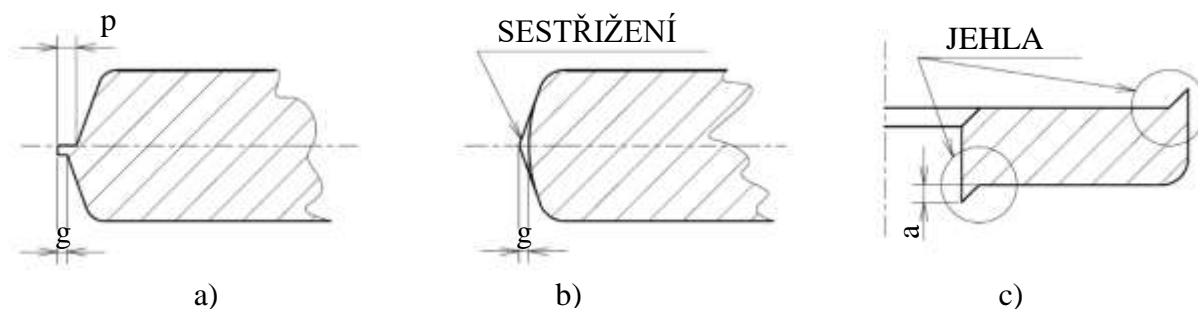
Nepřesnost výroby může být ovlivněna následujícími činiteli:

- nepřesností výroby zápustek
- vlivem ohřevu materiálu, přídatky na smrštění kovu
- změnou tvaru zápustky opotřebením, nebo její deformací
- ostatními vlivy

• **Nepřesnost výroby zápustek:** úchytky se stanovují dle přesnosti výkovku z největších rozměrů ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu z normy ČSN 42 9030. U nerotačních výkovků je největší rozměr ve směru kolmo k rázu brán jako střední hodnota součtu největší šířky a délky výkovku. Tabulkové hodnoty úchytek v normě jsou uvedeny pro vnější rozměry výkovku. Pro vnitřní rozměry je třeba u odečtených hodnot přehodit znaménka. Hodnoty úchytek jsou rozděleny podle stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení výkovku. Pro zaoblení hran je stanovena obdobná tabulka úchytek dle ČSN 42 9030, závislá na velikosti vnějšího nebo vnitřního zaoblení.

Přesnost zápustek je dána převážně složitostí tvaru výkovku. Čím je složitější výkovek, tím je větší pravděpodobnost výskytu následujících nepřesností:

- otřepu (g): jedná se o zbytek materiálu, který vytekl mezi dělené části zápustek (viz obr. 3.22a). Jeho hodnota je rovna minusové mezní úchytkce, stanovené pro daný výkovek a daný rozměr z úchytek kolmo k rázu.
- přesazení (p): rozměr, o který mohou být body po jedné straně dělicí plochy přesazeny oproti bodům odpovídajícím (viz obr. 3.22a). Způsobí úchytku souososti kovaných a děrovaných otvorů a má stejnou hodnotu jako otřep.
- sestřížení (g): stopa na výkovku, vzniklá odebráním technologického přídatku, nebo přídatku na obrábění (viz obr. 3.22b). Jeho hodnota je rovna minusové úchytkce, stanovené pro daný výkovek a daný rozměr z úchytek kolmo k rázu.
- jehly (a): ostří, které může vzniknout na okraji střížné plochy (viz obr. 3.22c). Hodnota ostří je rovna plusové úchytkce rozměru výkovku ve směru rázu.
- průhybu: dochází k němu vlivem ohřevu materiálu a následném smrštění kovu.



Obr. 3.22: Úchytky tvaru výkovku [5]

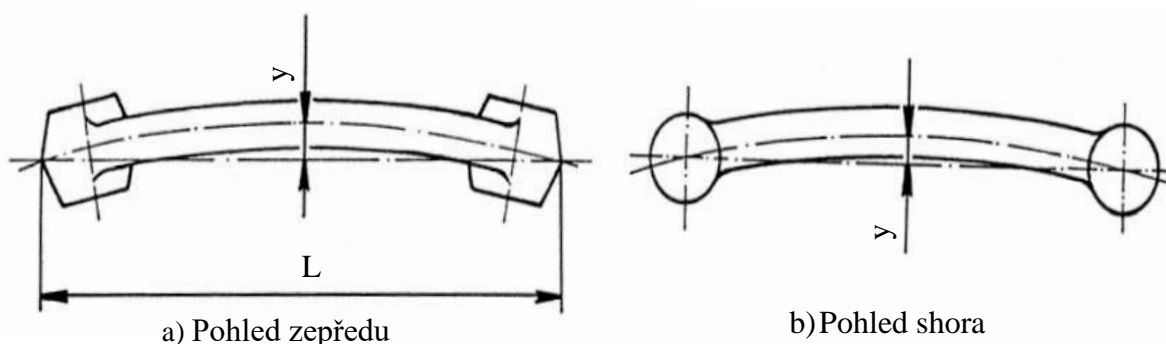
• **Vliv ohřevu materiálu:** velký vliv na úchytky rozměrů má tepelná roztažnost kovu, která způsobí zvětšení objemu kovu za kovací teploty a následné smrštění při zchladnutí. Rozměry zápustkové dutiny je nutné upravit s ohledem na tento jev. Někdy se hodnota zvětšení zápustky díky vlivu tepelné roztažnosti nazývá přírůstek na smrštění a lze stanovit dle vzorce (3.3):

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_0) \quad [mm] \quad (3.3)$$

Kde: Δl [mm] – velikost přídatku na smrštění
 l_0 [mm] – délka výkovku při okolní teplotě
 α [-] – koeficient tepelné roztažnosti
 t_1 [°C] – dokovací teplota
 t_0 [°C] – teplota okolí

Přídavek na smrštění se udává v % a při dokovací teplotě 900 °C je přibližně 1 % u středně uhlíkových ocelí a 1,6 % u austenitických ocelí. Z tohoto důvodu je velice důležité dodržet předem určenou dokovací teplotu, protože při jejím překročení dojde ke smrštění výkovku až o desetiny procenta.

Během smrštění kovu může dojít k vychýlení střední přímky výkovku od roviny a dojde tak k průhybu součásti (viz obr. 3.23). Dovolený průhyb je stanoven mezní úchylkou rovinnosti, která je rovna mínusové mezní úchylce.



Obr. 3.23: Průhyb [5]

- **Změny tvaru zápustky opotřebením, nebo její deformací:** zápustka se opotřebovává pravidelným třením kovu o stěnu zápustky. Největší opotřebení tedy vzniká v místech největšího toku materiálu – tedy v přechodu dutiny zápustky do výronkové drážky, v přechodech do žeber, nebo ve výstupcích. Zápustka je opotřebována o to více, čím více členitější a složitější je tvar výkovku. Příliš vysoké tření kovu o zápustku se dá snížit co největším přizpůsobením tvaru polotovaru konečnému tvaru a mazáním zápustky.

- **Ostatní vlivy:** další vlivy, které ovlivní přesnost výkovku jsou například rozměry polotovaru, druh a přesnost tvářecího stroje – vedení beranu, tuhost stojanu, nebo stopy po vyhazovačích.

Hodnota hloubky stopy po vyhazovači je rovna hodnotě mínusové mezní úchylky ve směru rázu a hodnota výšky stopy je rovna 1,5 – násobku hodnoty plusové mezní úchylky ve směru rázu.

3.4 Zpracování polotovaru před zápustkovým kováním [19]

Nejčastějším způsobem přípravy polotovarů pro zápustkové koválení je dělení dlouhých tyčí kruhového či čtvercového průřezu. Tyto se následně rozdělují různými způsoby na kratší polotovary – špalíky, špalíky a přířezy. Nadělené polotovary se následně předehřívají v kovářských pecích, aby se zlepšila jejich tvárnost a snížila pevnost.

3.4.1 Dělení polotovaru [15] [17] [19] [36]

Polotovary pro zápustkové koválení lze dělit buďto třískovým, nebo beztrískovým způsobem. Mezi beztrískové způsoby patří stříhání, lámání. Třískově se polotovary dělí řezáním rámovými a kotoučovými pilami. Přehled dělicích technologií udává tab. 3.2.

Tab. 3.2: Přehled použití lámání, stříhání a řezání [19]

Způsob dělení	Použití		Poznámka
	Průřez	Materiál	
Stříhání (za studena) Stříhání $\approx 300 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ Stříhání $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	Do $\varnothing 210\text{ mm}$ Do $\varnothing 190\text{ mm}$ Do $\varnothing 170\text{ mm}$ Větší rozměry Stejně a menší rozměry Uhlíkové a manganové oceli	Ocel o $R_m = 45\text{ MPa}$ Ocel o $R_m = 55\text{ MPa}$ Ocel o $R_m = 70\text{ MPa}$ Stejně materiály Cr-Ni oceli	Pro uhlíkové a nízkolegované oceli
Lámání	Do $\varnothing 230\text{ mm}$ při nejmenší délce 300 mm	Ocel o min. $R_m = 55\text{ MPa}$	Pro uhlíkové oceli. Pro legované houževnaté oceli musí být R_m vyšší
Řezání kotoučovou pilou	Do $\varnothing 300\text{ mm}$	Všechny kovy	Ztráty na materiálu vlivem šířky řezu 6-8 mm/řez

- **Dělení polotovarů řezáním:** využívá se při vysokých požadavcích na přesnost a kvalitu dělených polotovarů a u neželezných kovů a slitin, u nichž dochází při stříhání k velké deformaci ústřížků.

- **Stříhání:** je nejjednodušší, nejvýkonnější a výrazně nejvyužívanější způsob dělení polotovarů. V závislosti na velikosti průřezu materiálu se některé polotovary stříhají při zvýšené teplotě, viz tab. 3.2.

- **Lámání:** při dělení velkých průřezů, kdy nelze využít stříhání se využívá lámání, kdy se polotovar se předem nařízne do hloubky o velikosti 10 % jeho tloušťky a následně se polotovar ulomí v důsledku působení lamačů. Předností lámání je velká produktivita, dosažení poměrně krátkých úlomků (až 80 % jeho tloušťky) a možnost kontrolovat jakost tyče podle vzhladu lomu. Lomová plocha ovšem není nikdy tak hladká jako při stříhání. Polotovar se nepředehřívá.

3.4.2 Ohřev materiálu před kováním [2] [13] [19]

Pro ohřev polotovarů se v kovárnách využívají plynové, elektrické, odporové a elektrické indukční pece. Odporové pece jsou vhodné zejména pro barevné kovy. Plynové pece různých konstrukcí (karuselových, talířových, komorových, strkacích a šterbinových) se využívají při ohřevu velkých polotovarů. V zápusťkových kovárnách se převážně využívá indukční ohřev, který je nejrychlejší a nejefektivnější.

Ohřev materiálu je však spojen i s negativními vlivy. Jedná se o:

- **Oxidaci a vznik okují:** působením pecní atmosféry, která obsahuje okysličující plyny (volný kyslík, vodní pára, CO_2), vzniká na povrchu ohřívaného tělesa vrstva okují v podobě oxidů železa (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4). Okuje velice nepříznivě ovlivňují životnost pecní nístěje a tvářecích nástrojů, zhoršují kvalitu povrchu výkovku a způsobují přibližně 1 až 3 % odpadu.

Tvorbu okují lze ovlivnit:

Chemickým složením ohřívaného materiálu: prvky jako Al, Si, Cr, Mn, Ti snižují oxidaci oceli

Teplotou ohřevu: počáteční teplota rychlého růstu okují je cca $570\text{ }^{\circ}\text{C}$

Dobou ohřevu: rychlost růstu okují během ohřevu parabolicky klesá.

- **Oduhličení:** společně s oxidací dochází během ohřevu v oxidační atmosféře k oduhličení povrchu materiálu. Oproti oxidaci ovšem oduhličení prostupuje do mnohem větší hloubky, kde nepříznivě působí na tvrdost materiálu hlavně u tepelného zpracování výkovků.

3.5 Příprava a konstrukce zápustek [19]

Během kování je prakticky nejdůležitější rozměr a kvalita zápustky. Těmto parametrům se věnuje zvýšená pozornost, protože ovlivňují jak celkový tvar, tak kvalitu výkovku. Zápustky se používáním opotřebovávají a mají tak určitou životnost a je nutné je po jejich opotřebení vyměnit, což značně prodražuje náklady na výrobu. Z tohoto důvodu je důležité zápustky správně udržovat, chránit a manipulovat s nimi. Všechny tyto opatření značně prodlouží životnost zápustky a sníží náklady na výrobu součástí.

3.5.1 Materiál zápustek [9] [14] [15] [19] [25]

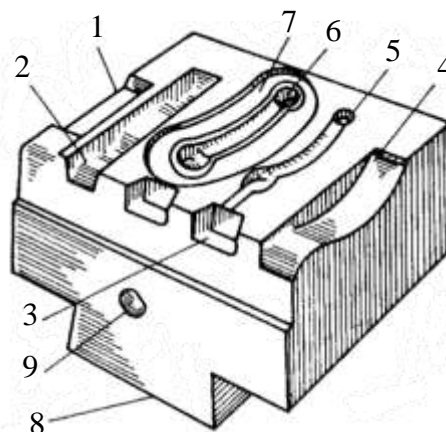
Vzhledem k vysokému tepelnému a mechanickému namáhání zápustek, jsou kladeny na materiál následující požadavky: vysoká tvrdost, co nejvyšší poměr meze kluzu a pevnosti, co největší popouštěcí teploty, vysoká odolnost proti opotřebení otěrem, dobrá prokalitelnost, dostačující houževnatost, co nejmenší náchylnost k nalepování tvářeného materiálu, dobrá odolnost při tvorbě trhlinek z tepelné únavy při střídání teplot, malá tepelná roztažnost, velká tepelná vodivost, co nejnižší kalící teploty, co nejvyšší rekrytalizační teploty, dobrá obrobitelnost a nízká cena. V normě ČSN 22 8306 jsou uvedeny nejpoužívanější nástrojové oceli, využívané pro zápustky. Jejich přehled je znázorněn v příloze 2: Nástrojové oceli pro zápustky.

3.5.2 Druhy zápustkových dutin [4] [19] [25] [36]

Většinu výkovků nelze vyhotovit během jedné operace. Materiál se příliš rychle ochlazuje a často se nestihne přetvořit. Příliš velké změny tvaru by mohly způsobit také poruchy v materiálu. Z tohoto důvodu se často kove na bucharech na více operací v tzv. postupových zápustkách, nebo na svislém kovacím lisu ve speciálních dutinách. Pro každou operaci se musí vytvořit speciální dutina.

Dutiny, ve kterých se vytváří předběžný tvar základními tvarovacími operacemi, se nazývají přípravné nebo předkovací dutiny. Zavedení předkovacích dutin výrazně snižuje opotřebení zápustek a umožňuje lepší zatékání kovu do míst s úzkými žebry či obtížnými přechody a hranami kvůli větším úkosům než v konečné dutině. Předkovky musí být užší a vyšší než konečný výkovek. Z důvodu značného tepelného ovlivnění zápustky kovem je vhodné umístit dutiny po sobě následující co nejdále od sebe (obr. 3.24).

Poslední zápustka, ve které se vytvoří konečný tvar výkovku se nazývá dokončovací dutina a je zpravidla umísťována doprostřed, aby se mohla největší tvářecí síla soustředit do osy lisu.

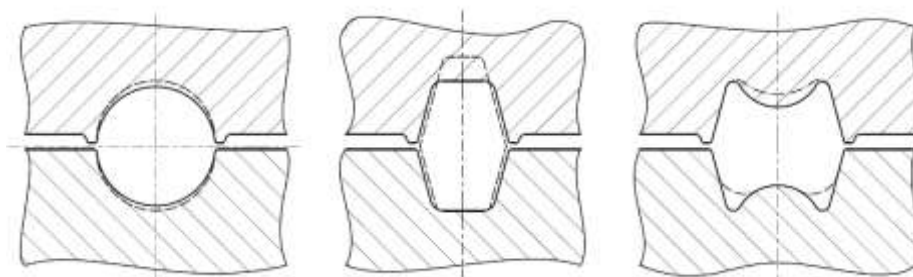


- 1 – prodlužovací dutina; 2 – rozdělovací dutina;
- 3 – vybrání pro úchyt; 4 – ohýbací dutina;
- 5 – předkovací dutina; 6 – dokovací dutina;
- 7 – výronková drážka; 8 – kořen;
- 9 – díra pro manipulační kolík

Obr. 3.24: Umístění předkovacích dutin [36]

- **Tvar, rozměry a mezní úchytky předkovací zápustky u lisů:**

Rozměry předkovací zápustky jsou stanovovány přibližně (viz obr. 3.25). Musí být ovšem dodržen pýchovací poměr pro pýchovací operaci. Dutina zápustky se stanovuje tak, aby v ní byl napýchovaný polotovar jednoznačně ustaven. Totéž pravidlo platí pro stanovení rozměrů předkovací zápustky při dokončení předkovací operace. Tyto rozměry musí být stanoveny tak, aby šel výkovek jednoznačně ustavit v dokončovací zápustce. Mezní úchytky dutiny se nepředepisují, protože se v zápustce nevyhotoví konečný tvar součásti.



Obr. 3.25: Předkovací dutiny pro lisy [25]

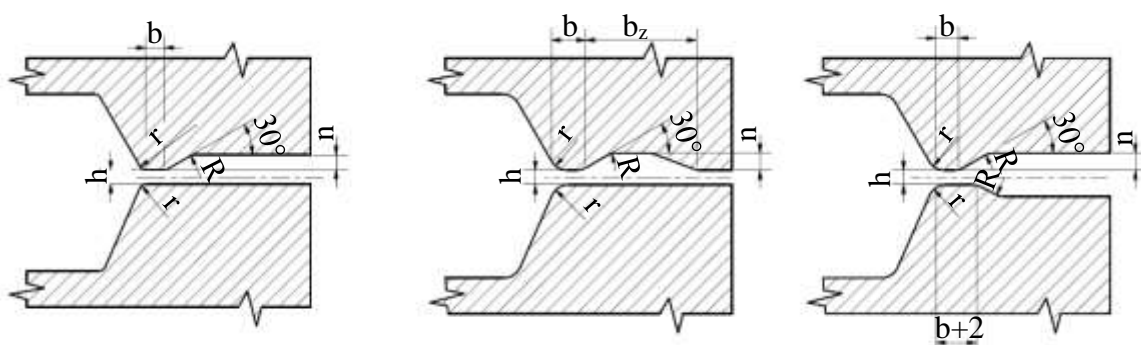
- **Tvar, rozměry a mezní úchytky dokovací zápustky u lisů:**

Jmenovitý rozměr zápustek se určí podle konečného rozměru výkovku s přídavky, zvětšený o hodnotu smrštění, která je přibližně 1 % jmenovitého rozměru. Mezní úchytky rozměrů jsou dány dle normy ČSN 22 8306 z tab. 6.2 v příloze 3: Mezní úchytky a opracování zápustek pro svislé kovací lisy. Dutina se také opracovává na drsnost, stanovenou dle totožné normy (tab. 6.3) v příloze 3: Mezní úchytky a opracování zápustek pro svislé kovací lisy.

3.5.3 Tvar a rozměr výronkové drážky [9] [19]

V závěrečné fázi kování vyteče přebytečný materiál polotovaru do výronkové drážky, která se umísťuje kolem celé dokončovací dutiny zápustky v dělicí rovině. Výronková drážka se skládá z můstku a zásobníku. Zásobník slouží k pojmnutí přebytečného materiálu. Můstek slouží k regulaci tlaku a ke zvýšení odporu proti vytečení materiálu do drážky, čímž napomáhá dokonalému zaplnění zápustkové dutiny. Díky svému malému průřezu umožňuje jednoduše odstříhnout celý výronek od konečného výkovku.

- **Tvar výronkové drážky:** Výronková drážka je pro buchary uzavřená, neboť buchary nemají spodní úvrat' a výkovek je dokován při dosednutí obou zápustek. Naopak u kovací lis s klikovým mechanismem na sebe zápustky nedosedají a drážka je tedy otevřená (viz obr. 3.26).



a) typ I. - obvyklý

b) typ II. – při velkých vzdálenostech dutiny od okraje zápustky

c) typ III. – při velkém přebytku materiálu

Obr. 3.26: Tvary výronkových drážek u svislých kovacích lisů [9]

- **Rozměry výronkové drážky:** pro konstrukci výronkové drážky pro kovací lisy je třeba znát její základní rozměry, jako šířka můstku (b), šířka zásobníku (b_z), poloměr zaoblení přechodu tvaru do dělicí plochy (r), nebo výšku zásobníku v horní polovině zápustky (n). Pro určení těchto rozměrů je podstatná výška můstku (h), jejíž velikost se určí z nomogramu dle normy ČSN ISO 22 8306 pomocí hmotnosti přířezu (m_0) a průměru výkovku bez výronku (D_v), promítnutého v dělicí rovině.

Šířka můstku (b) se určí pomocí výšky můstku (h) dle vzorce (3.4):

$$b = h \cdot 3 \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

Kde: b [mm] – šířka můstku

h [mm] – výška můstku

Výšku zásobníku (n) určíme za pomoci výšky můstku (h) dle vzorce (3.5):

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \quad [\text{mm}] \quad (3.5)$$

Kde: n [mm] – výška zásobníku

h [mm] – výška můstku

Zaoblení poloměrů a přechodů (r) tvaru do dělicí plochy se stanoví dle vzorce (3.6):

$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_d \quad [\text{mm}] \quad (3.6)$$

Kde: S_v [cm²] – průmět plochy výkovku do roviny

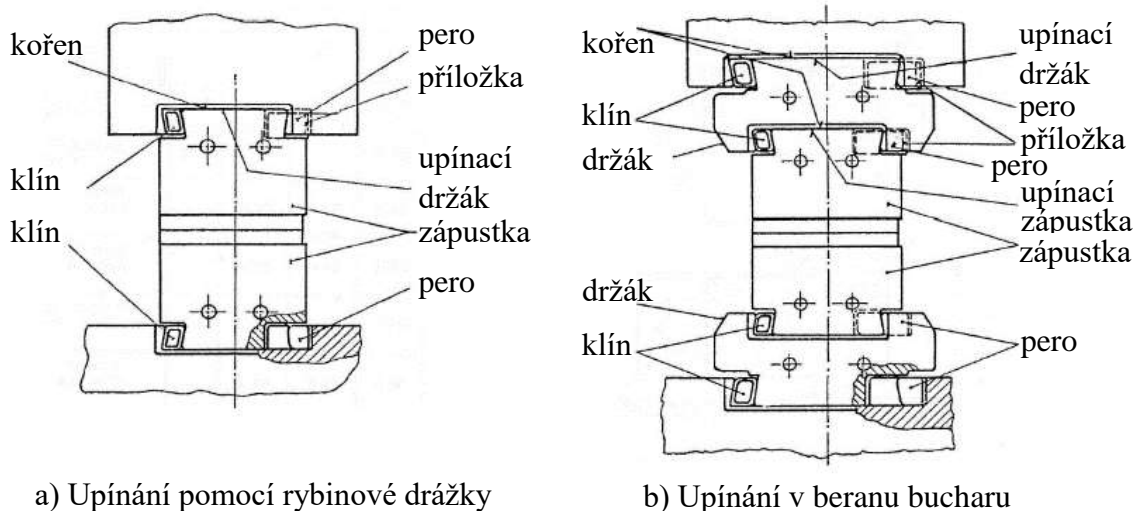
H_d [mm] – výška dutiny spodní zápustky

Maximální hodnota zaoblení (r) je závislá na hmotnosti kovacího lisu a nabývá hodnot od 1 do 1,5 mm.

Při konstrukci výronkové drážky je také důležité dbát na velikost zásobníku. Objem zásobníku se získá pomocí objemu výronku a součinitele zaplnění výronkové drážky, který se pohybuje kolem hodnoty 0,7. Pro přesnější určení jej však lze určit z tabulek v normě ČSN 22 8308 na základě hmotnosti výkovku a způsobu toku materiálu.

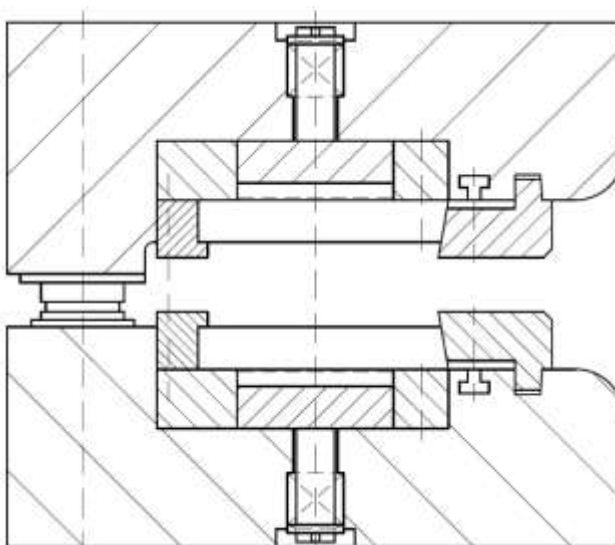
3.5.4 Upínání zápustek [7] [19]

Upínání horního a spodního dílu zápustky do bucharů se provádí pomocí upínací plochy na zápustce ve tvaru rybiny a rybinové drážky v držáku (viz obr. 3.27a), nebo přímo v beranu bucharu (viz obr. 3.27b). Uprostřed rybinové drážky, kolmo na jednu její stěnu, je vytvořena boční drážka pro pero, které zabraňuje axiálnímu posuvu. Mezi protější stěnu a rybinovou část zápustky se vkládá klín, omezující radiální pohyb zápustky. Existují také způsoby upnutí bez pera, kdy je na obou stranách vložen klín, který se zasunuje jiným směrem.



Obr. 3.27: Upínání zápustek na buchar [7]

Upínání zápustek na kovací lisy (viz obr. 3.28) se provádí pomocí upínacích držáků, upnutých na horní i spodní části lisu pomocí šroubů. Zápustky jsou vloženy na desku s vybráním pro vyhazovače. Každá zápustka se upíná samostatně pomocí osazené lišty a upínky, která se opírá o úkos na přední straně zápustky.



Obr. 3.28: Upínání zápustek na svislých kovacích lisech

3.5.5 Ošetřování zápustek [19]

Zápustky je nutné cílem zvýšení jejich životnosti ošetřovat následujícími způsoby:

- **Předehřev zápustek:** malá houževnatost zápustky způsobená tepelným zpracováním může mít během kování za následek vznik vad. Aby zápustky v důsledku velkých tepelných cyklů nepraskaly, předehřívají se na cca 200 až 300 °C, kdy má materiál největší houževnatost. Předehřev se provádí obvykle před započítím práce, během přestávek, při změně směny, nebo při poklesu teplot zápustky pod kritickou hranici teplot důsledkem nedostatečně intenzivní práce. Předehřívání na vyšší teploty by nebylo příliš účelné, neboť houževnatost materiálu poté už spíše klesá. Předehřátá zápustka také příznivě ovlivňuje tvářený materiál, neboť oproti chladné zápustce má menší teplotní rozdíly vůči kovanému materiálu a tím pádem ho méně ochlazuje a prodlužuje tak dobu, kdy materiál setrvává na pracovních teplotách a snižuje také teplotní gradient mezi povrchem a jádrem zápustky, což zmenšuje pravděpodobnost tepelných pnutí.

- **Chlazení zápustek:** Opačným nepříznivým jevem, který se ve výrobě také stává je přehřátí zápustek. I tomu je třeba zabránit, aby jejich teplota nepřesáhla 300 °C a nesnížila se tak pevnost materiálu, popřípadě dokonce aby se nepřesáhla teplota rekystalizace, během které by došlo ke změně objemu. K přehřátí zápustek může dojít při dlouhé době styku výkovku se zápustkou, nebo při intenzivním kování, nebo nevhodnými ohřívacími pecemi a jejich nedostatečnou kapacitou. Nejvíce ohřívána dutina zápustky bývá u poloautomatických a automatických kovacích strojů.

Chlazení zápustky musí být postupné a rovnoměrné, aby se zamezilo vzniku pnutí a trhlin. Provádí se stlačeným vzduchem, vodní sprchou, nebo vodními kanály v bloku zápustky, či ve vložkovaných bandážích. Chlazení vodou je třeba vyloučit u vysokolegovaných ocelí, nebo nástroje, jejichž teplota nepřekročí 300 °C.

- **Mazání zápustek:** Plochy nástrojů, nebo nástroje a výkovku se během procesu nedotýkají celým objemem, nýbrž pouze malými částmi, které nejvíce vystupují z povrchu. Tyto plochy jsou malé a díky tomu na nich vzniká vysoké napětí, způsobující plastickou deformaci. Velký tlak stroje může způsobovat studené svary, které se ihned začnou trhat a znehodnocovat povrch. Tento nežádoucí efekt lze eliminovat použitím maziv, která snižují tření mezi zápustkou a tvářeným materiálem, snižují otěr zápustky, čímž zlepšují tok tvářeného materiálu, zabráňují zakovávání okují do povrchu dutiny, chladí zápustku, napomáhají uvolnění výkovků a zjednodušují nasazování předkovků do zápustky.

Podle převažující funkce maziva se rozděluje na:

- Látky s převážně mazacími účinky: tato maziva snižují tření mezi výkovkem a zápustkou.
- Látky s převážně uvolňovacími účinky: při vysokých teplotách se začnou odpařovat, nebo hořet a vytvoří plyny a vodní páru, napomáhající uvolnění výkovku.

Z hlediska chemického složení je lze také rozdělit na:

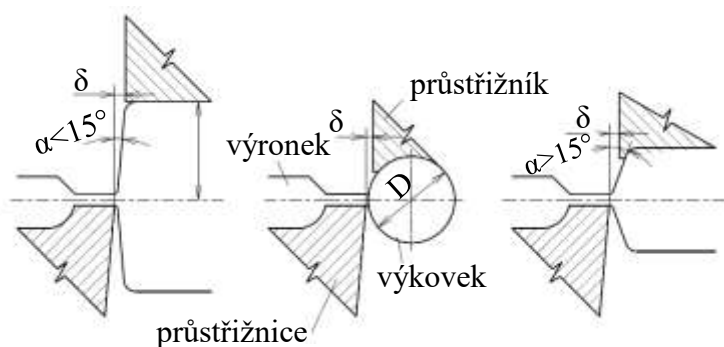
- Tuhá maziva: z hlediska jejich stavu by se špatně nanášely, proto jsou rozptýleny ve vodě, nebo v oleji. Mezi nejrozšířenější tuhé mazivo patří grafit, který má díky své dobré krystalické struktuře výbornou přilnavost a mazací účinky. Má také vysokou termickou stabilitu až do teplot 600 °C. Dalšími tuhými mazivy jsou mastek, slída, síra a sirníky (molybdeničitý, wolframčitý, titaničitý, zinečnatý)
- Kapalná maziva: jedná se většinou o oleje, které mají bod vzplanutí kolem 200°C. Proto se nepoužívají jako samotná maziva, ale spíše jako nosiče např. tuhých maziv. Přesto však dobře napomáhají vyjmutí výkovku ze zápustky.
- Konzistentní maziva: jedná se zpravidla o tuhy a mazlavá mýdla, která se většinou v praxi moc nevyužívají, protože se musí nanášet ručně a po vypaření zanechávají tuhé zbytky, vzniklé zmýdlením mastných kyselin, které se mohou zakovat do výkovku. Na druhou stranu se ovšem vyznačují odolností proti vysokým tlakům.
- Piliny: během jejich spalování se uvolňují plyny a vodní páry, napomáhající vyjmutí výkovku.
- Soli: jsou odolné proti vysokým teplotám, během kterých po odpaření vody zůstanou solné krystaly, které vytvoří na funkčních plochách zápustky izolační vrstvu, která chrání dutinu před zakováním okují, protože na ni nemohou přilnout. Tato vrstva lze také jednoduše odstranit ofoukáním, ale silně znečišťuje stroj, protože má korozivní účinky (např. halit NaCl, soda Na₂CO₃, ledek, ...).
- Sklo: ve formě vaty nebo fólií se nanáší v prchavém nosiči, který se za vysokých teplot odpaří. Zbylé částičky skla se roztaví a vytvoří izolační vrstvu proti okujím. Zbytky skla však zůstávají v zápustce a musejí se odstraňovat oklepáním, nebo pískováním, aby příliš neovlivňovaly rozměry dutiny.

3.6 Dokončovací operace výkovků [15] [19] [24] [36]

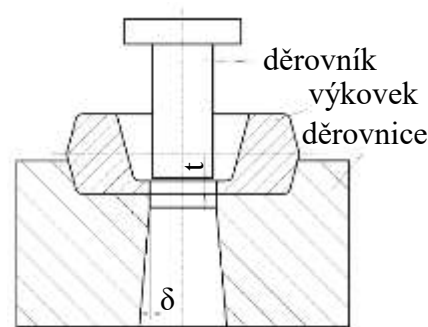
Po dokončení kování se musí výkovek připravit na následné obrábění. Mnohdy má nevhodný tvar, nežádoucí mechanické vlastnosti, znečištěný povrch, popřípadě zakované okuje v povrchu. Všechny tyto vlastnosti jsou nevhodné pro obrábění a značně zhoršují a prodražují jeho proces. Aby se výroba co nejvíce zlevnila, je nutné provést před obráběním tepelné zpracování a očistit výkovek. Každý zápustkový výkovek má také po obvodu v dělicí rovině výronek, který je potřeba před čištěním a tepelným zpracováním odstranit pomocí ostřihovacího lisu. Některé výkovky mají také předkovanou díru, která má uprostřed blánu. Tato blána se také děruje před obráběním.

• **Ostřihování a děrování:** během tváření se přebytečný materiál v zápustce přemístí do výronkové drážky. Tvar výronku je uzpůsoben tak, aby šel jednoduše odstříhnout a tím pádem se výkovek jednoduše oddělil od přebytečného materiálu. Výronek se odstřihuje v oblasti můstku, který je speciálně pro usnadnění odstřižení ztenčen oproti zásobníku. Odstřižení se provádí co nejbližší k výkovku, aby se přebytečný materiál nemusel ještě dodatečně brousit (viz obr. 3.29). Přesto se však v oblasti střihu vytvoří ostří. U předkovaných otvorů se také děruje blána (viz obr. 3.30).

Ostřihování se provádí na mechanických, nebo hydraulických lisech. Jejich velikost se určí podle velikosti výkovku a podle síly potřebné k odstřižení, navýšené o 25 %, protože je nutné brát ohled na opotřebení zápustek, které může zapříčinit zvětšení tloušťky výronku. U ocelí s obsahem uhlíku pod 0,5 % je možné provádět odstřižení za studena. U velkých výkovků a ocelí s obsahem nad 0,5 % se již doporučuje ostřihovat za tepla, aby se snížila pevnost a zároveň se umožnilo rovnání výkovku ve stejné operaci.



Obr. 3.29: Způsoby ostřihování [15]



Obr. 3.30: Děrování [15]

• **Rovnání:** každá součást se může během výroby zakřivit tvářením v zápustkách, u kterých povětšinou nesouhlasí poloha os dutin s osami výkovků. Také při vyjímání součásti z dutiny zápustky, nebo při jejím ostřihování se může její osa zakřivit. Všechny tyto chyby se napravují rovnáním za tepla buďto v dokončovací dutině zápustky, nebo v rovnacích nástrojích pomocí ostřihovacích lisů. Druhý způsob je výhodnější, protože neopotřebovává dokončovací zápustku a nesnižuje výrobnost kovacího stroje. Rovnací nástroje jsou často zkombinované s ostřihovacími.

Také tepelným zpracováním a čištěním se může tvar výkovku změnit. Takové změny se pak opravují v rovnacích zápustkách pomocí padacích bucharů, nebo vřetenových a ostřihovacích lisů.

• **Kalibrování:** v některých případech je vyžadována vyšší přesnost výkovku, než je možné vytvořit v dokončovací zápustce. V tomto případě se výkovky ještě kalibrují v tzv. kalibrovacích zápustkách na kovárenských strojích, aby se dosáhlo přesnějších rozměrů, přesnější váhy a čistého a hladkého povrchu.

Nejvýhodnější je kalibrovat za tepla ještě dříve, než výkovek zchladne od poslední kovací operace, aby se zamezilo dalšímu okujení. Kalibrování se tedy provádí ihned po odstřižení výronku. Mnohdy se ostřihuje a kalibruje na jeden zdvih. Často ještě při této operaci vznikne malý výronek, který se musí odstříhnout za studena, aby nedošlo ke zkřivení součásti.

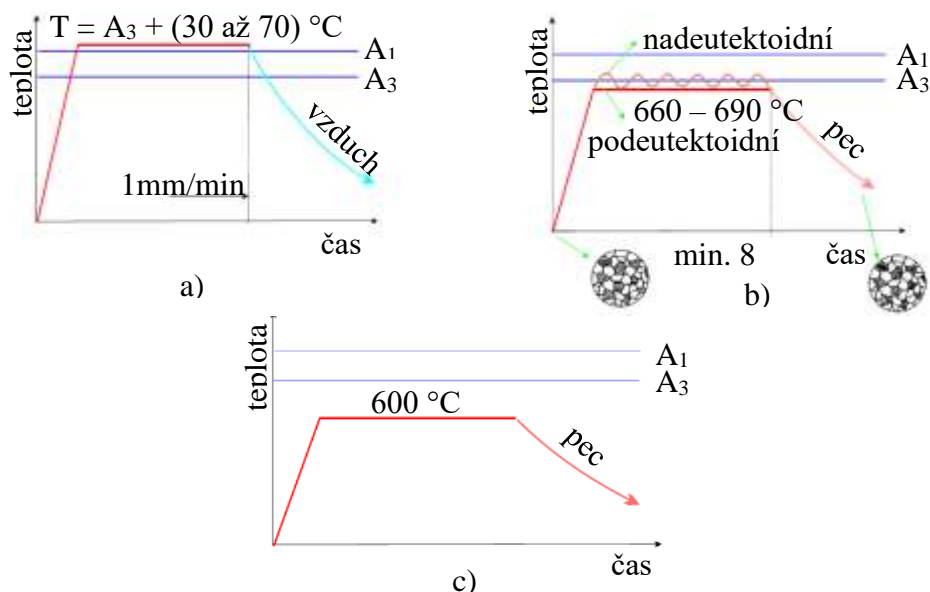
V případě nutnosti další kalibrace pro větší zpřesnění součásti je možné provést ještě kalibraci za studena na razících lisech. Tato operace následuje až po tepelném zpracování, vyrovnání a zbavení okují. V některých případech postačuje k vytvoření konečné součásti kalibrace. Taková součást se pak už nemusí obrábět

• **Čištění:** pro odstranění okují, rzi, povrchových vad a nečistot se v praxi využívá několik způsobů. Čištění povrchu výrobků je důležité, protože usnadňuje obrábění, nebo u hotových součástí zkvalitňuje jejich povrch.

Čistit povrch lze ručně pomocí brusných kotoučů, opalováním plamenem či pomocí pneumatických sekáčů. Větší součásti lze také otryskat proudem zrn drceného korundu, nebo karbidu křemíku. Menší výkovky se omílají v otáčecích bubnech, do kterých se přidávají chemické kapaliny spolu s křemičitým pískem, nebo s úlomky brusných kotoučů. Pokud je cílem odmaštění výrobku, provádí se moření v koších, ponořených do van s mořícími roztoky kyselin či zásad.

• **Tepelné zpracování:** každý výkovek se po vyhotovení tepelně zpracovává, aby se zlepšila jeho obrobitelnost a mechanické vlastnosti. Tato úprava odstraňuje vlivy ohřevu na kovací teplotu a následného ochlazení – vnitřní pnutí a nestejnoměrnou strukturu. Základní způsoby tepelného zpracování výkovků jsou:

- Normalizační žihání: nejobvyklejší druh tepelného zpracování výkovků. Provádí se ohřevem na teploty cca 30 až 70 °C nad teplotou rekrystalizace, na kterých se setrvává 5 až 20 minut. Poté se ochlazuje v bezvětrném prostředí na vzduchu. Výsledek má zjemněnou a zhomogenizovanou strukturu. Průběh procesu je znázorněn na obr. 3.31a.
- Žihání na měkko: ohřev, který probíhá v oblasti teplot 660 až 690 °C. Na této teplotě setrvává minimálně 8 hodin, a poté je ukončován mírným ochlazováním v peci (viz obr. 3.31b). Vlivem tohoto ohřevu dojde ke sferoidizaci cementitu – změně lamelárního perlitu na globulární.
- Žihání ke snížení pnutí: během rovnání, nebo ochlazování mohlo dojít v materiálu ke kumulaci vnitřních napětí. Tento nepříznivý jev lze odstranit ohřátím na teplotu kolem 600 °C a udržením této teploty po dobu $\frac{d}{25}$, kde d je průměr výkovku v milimetrech. Po prodlevě se materiál rovnoměrně ochladí v peci na teplotu 200 °C. Poté se může nechat vytáhnout a ochladit na vzduchu nebo v písku (viz obr. 3.31c).
- Zušlechťování: materiál se zakalí ohřevem na austenitizační teplotu – teplotu přeměny. Po krátké prodlevě se ochladí na klidném, nebo dmýchaném vzduchu. Poté započne druhá fáze – ohřev na popouštěcí teplotu a její udržení po dobu 0,5 až 2 hodiny, po kterém se výkovek ochladí na vzduchu.



Obr. 3.31: Tepelné zpracování [24]

4 TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÉHO KOLA

4.1 Konstrukce zápustkového výkovku

4.1.1 Poloha dělicí roviny

Dělicí rovina je vzhledem k tvaru ozubeného kola umístěna ve spodní rovině zahloubení. Toto zvolení zajišťuje nejsnadnější zaplnění zápustky a nejjednodušší obrobení výkovku.

4.1.2 Zařazení výkovku dle tvarové složitosti [6]

Zadaná součást byla dle normy ČSN 42 9002 zařazena do jednotlivých skupin.

Výsledné označení výkovku je 5120-3

Tvarový druh:	5 ...	výkovky kruhového průřezu duté
Tvarová třída:	3 ...	jednostranně osazené
Tvarová skupina:	2 ...	výkovky duté $H \leq B$ (D); $H \leq 2H_1$
Tvarová podskupina:	0 ...	bez přesahu
Technologické hledisko:	3 ...	výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu, souměrné

4.1.3 Stupeň přesnosti a provedení výkovku [8]

Vzhledem ke tvarové složitosti výkovku lze určit stupeň přesnosti jednotlivých rozměrů výkovku z tab. 6.5 dle normy ČSN 42 9030 v příloze 4: Stanovení stupně přesnosti a přídatku na obrábění pro zápustkové výkovky.

V závislosti na tvarové složitosti byly určeny stupně přesnosti pro rozměry kolmo k rázu IT 5 a pro rozměry ve směru rázu IT 6.

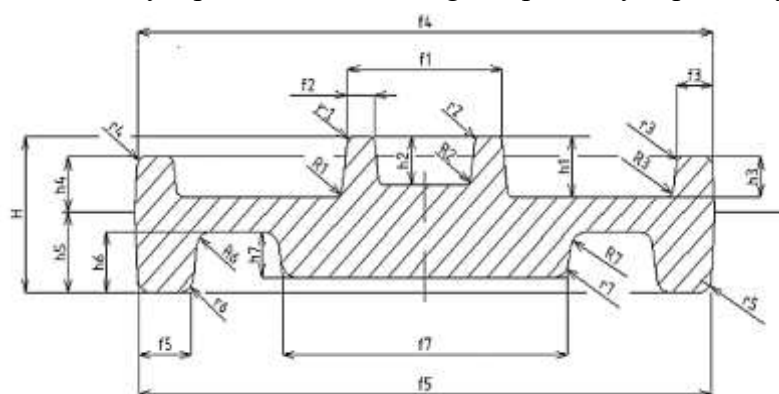
4.1.4 Přídatky na obrábění [8]

Dle přesnosti výroby největšího rozměru hotového výrobku ve směru kolmo k rázu a podle největší výšky hotového výrobku byl vybrán přídatek na obrábění z tab. 6.6 dle normy ČSN 42 9030 v příloze 4: Stanovení stupně přesnosti a přídatku na obrábění pro zápustkové výkovky. Pro konstrukci výkovku byly zvoleny přídatky pro obvyklé provedení.

Velikost přídatku na obrábění dle obvyklého provedení byla stanovena 2,5 mm.

4.1.5 Technologické přídatky [8] [21]

• **Zaoblení hran a přechodů:** velikost zaoblení hran a přechodů byla určena z výšky a šířky každé části výkovku zvlášť, tj. z poměru $\frac{h}{f}$ podle obr. 4.1 a z tab. 6.7 dle normy ČSN 42 9030, které jsou znázorněny v příloze 5: Technologické přídatky zápustkových výkovků.



Obr. 4.1: Zaoblení hran a přechodů [8]

- **Nejmenší tloušťka dna a stěny výkovku:** byla stanovena dle největšího rozměru ve směru kolmo k rázu a největší výšky výkovku (viz obr. 3.20) z tab. 6.8 dle normy ČSN 42 9030, zobrazené v příloze 5: Technologické přídatky zápustkových výkovků.

Nejmenší tloušťka dna, stěny a blány byla z největších rozměrů výkovku zvolena 9 mm.

- **Úkosy zápustkových výkovků:** v praxi se dle ČSN 42 9030 běžně navrhuje úkosy hran stejné. Velikost zkosení může ale ovlivnit zvolení vyhazovače (viz tab. 6.9 v příloze 5: Technologické přídatky zápustkových výkovků).

Velikosti úkosů byly stanoveny pro lisy s vyhazovačem pro vnější rozměry 3° a pro vnitřní rozměry 5°.

- **Mezní úchytky a tolerance rozměrů:** Dle stupně přesnosti výkovku se z největších rozměrů výkovku ve směru rázu a ve směru kolmo k rázu v tabulkách dle normy ČSN 42 9030 stanovují mezní úchytky. Vzhledem ke složitosti tvaru výkovku jsou rozměry výkovku stanoveny dle stupně přesnosti IT 5 a IT 6 (viz tab. 6.10, tab. 6.11 v příloze 6: Mezní úchytky a tolerance rozměrů zápustkových výkovků). Všechny rozměry v každém směru mají stejnou velikost úchytky.

Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r jsou určeny v tab. 6.12 dle normy ČSN 42 9030 v příloze 6: Mezní úchytky a tolerance rozměrů zápustkových výkovků. Výsledná velikost úchytky zaoblení vzniká vynásobením hodnoty z tabulky velikostí zaoblení přechodů R nebo hran r.

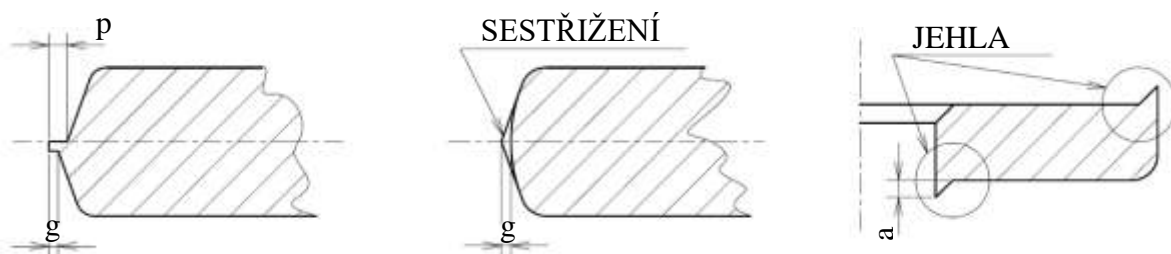
Mezní úchytky tolerance rozměrů pro rozměry ve směru kolmo ke směru rázu pro stupeň přesnosti IT 5 byly stanoveny $^{+1,2}_{-0,6}$ mm.

Mezní úchytky tolerance rozměrů pro rozměry ve směru rázu pro stupeň přesnosti IT 6 byly určeny $^{+1,9}_{-1,0}$ mm.

- **Dovolené přesazení, otřep, sestřizení a jehla:** všechny rozměry byly znázorněny na obr. 4.2. Přesazení, otřep a sestřizení (p, g) je rovno mínusové mezní úchytky kolmo k rázu. Velikost jehly (a) je rovna plusové mezní úchytky ve směru rázu.

$$p = g = 0,6 \text{ mm}$$

$$a = 1,9 \text{ mm}$$



Obr. 4.2: Úchytky tvaru výkovku [5]

Všechny přídatky, úchytky a velikosti stěn byly použity pro vyhotovení výkresu výkovku (A3–BP–2017–002), který byl vyhotoven na základě výkresu součásti (A3 – BP – 2017– 001).

Model výkovku je pak na obr. 4.3.

4.1.6 Tvar a rozměry výronkové drážky [9]

Při stanovování výšky výronku vycházíme z plochy nebo z průměru průřezu výkovku bez výronku do dělicí roviny a z hmotnosti přířezu. Tyto hodnoty byly z důvodu větší přesnosti výsledků oproti ruční metodě vypočteny v parametrickém modeláři Autodesk Inventor Professional 2017. Model vytvořený v programu je znázorněn na obr. 4.3.



Obr. 4.3: Model výkovku

Plocha průřezu výkovku $S_v = 9794,554 \text{ mm}^2 = 97,95 \text{ cm}^2$

Hmotnost výkovku $m_o = 2,429 \text{ kg}$

Průměr průřezu výkovku $D_v = 111,673 \text{ mm}$

Obvod výkovku $O_v = 350,83 \text{ mm}$

Z nomogramu na obr. 4.4 byla na základě získaných hodnot stanovena výška můstku (h) na 2,1 mm.

$$h = 2,05 \rightarrow \text{zvoleno } h = 2,1 \text{ mm}$$

Šířka můstku (b):

volena dle poměru $\frac{b}{h}$

$$\frac{b}{h} \rightarrow \text{zvoleno } 3$$

$$b = h \cdot 3 = 2,1 \cdot 3 = 6,3 \text{ mm}$$

Průměr výkovku s můstkem (D_c):

$$D_c = D_v + 2 \cdot b \text{ [mm]}$$

$$D_c = 111,67 + 2 \cdot 6,3$$

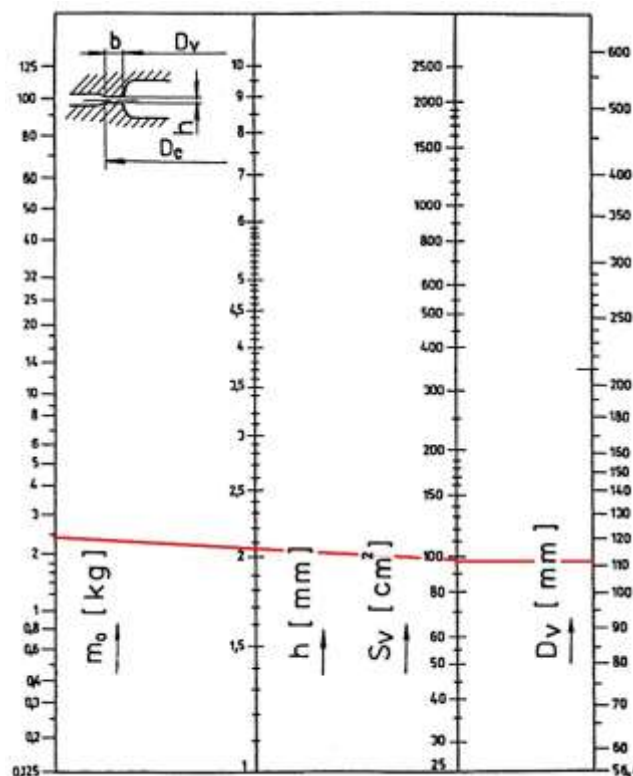
$$D_c = 124,3 \text{ mm}$$

Výška zásobníku n :

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \text{ [mm]}$$

$$n = 0,4 \cdot 2,1 + 2$$

$$n = 2,84 \div 2,8 \text{ mm}$$



Obr. 4.4: Nomogram pro stanovení výšky můstku [9]

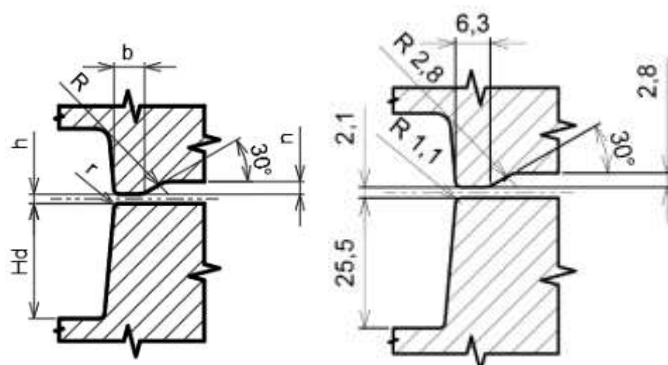
Přechodový poloměr:

$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_d$$

$$r = \frac{\sqrt{97,95}}{200} + 0,04 \cdot 25,5$$

$$r = 1,06 \text{ mm}$$

zvoleno 1,1 mm



Obr. 4.5: Výronková drážka

4.2 Návrh polotovaru [5] [11]

4.2.1 Objem výkovku [11]

Celkový objem výkovku:

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_p \quad [\text{mm}^3] \quad (4.1)$$

Kde: V_c $[\text{mm}^3]$ – celkový objem výkovku

V_v $[\text{mm}^3]$ – objem výkovku (bez výronku)

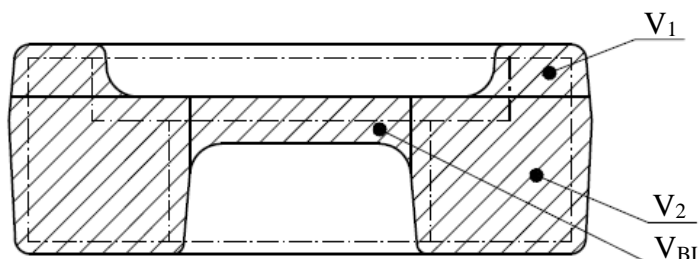
$V_{výr}$ $[\text{mm}^3]$ – objem výronku

V_p $[\text{mm}^3]$ – objem přídatku na propal

Objem výkovku (bez výronku):

Objem výkovku lze určit na základě součtu objemů částí výkovku viz obr. 4.6, které lze vypočítat pomocí základních výpočetních operací pro objem.

Tato metoda slouží pouze jako orientační kontrola správných výsledků, protože je oproti metodě výpočtu pomocí výpočetní techniky mnohem méně přesná.



Obr. 4.6: Výpočet objemu výkovku

$$V_v = V_1 + V_2 + V_{BL} \quad [\text{mm}^3] \quad (4.2)$$

Kde: V_v $[\text{mm}^3]$ – objem výkovku (bez výronku)

V_1 $[\text{mm}^3]$ – objem jedné části výkovku

V_2 $[\text{mm}^3]$ – objem druhé části výkovku

V_{BL} $[\text{mm}^3]$ – objem blány

$$V_1 = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \right) \cdot h_1 \quad [\text{mm}^3] \quad (4.3)$$

$$V_1 = \left(\frac{\pi \cdot 109^2}{4} - \frac{\pi \cdot 75^2}{4} \right) \cdot 10 = 49134,5 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \right) \cdot h_2 \quad [\text{mm}^3] \quad (4.4)$$

$$V_2 = \left(\frac{\pi \cdot 109^2}{4} - \frac{\pi \cdot 45^2}{4} \right) \cdot 30 = 232226,5 \text{ mm}^3$$

$$V_{BL} = \left(\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \right) \cdot h \quad [\text{mm}^3] \quad (4.5)$$

$$V_{BL} = \left(\frac{\pi \cdot 45^2}{4} \right) \cdot 9 = 14313,9 \text{ mm}^3$$

$$V_v = V_1 + V_2 + V_{BL} = 49134,5 + 232226,5 + 14313,9 = 295674,9 \text{ mm}^3$$

Pomocí výpočetní techniky byl v programu Autodesk Inventor Professional 2017 vytvořen model výkovku bez výronku (viz obr. 4.7), ze kterého byl vypočten objem, který je 309381,1 mm^3 . Výsledek ručního výpočtu se zásadně neliší od výsledku získaného programem. Pravdivost výsledků byla ověřena, a proto můžeme brát výsledek získaný z programu jako přesný a důvěryhodný.



Obr. 4.7: Model výkovku

Objem výronku:

Objem výronku se určí jako 10 % z objemu výkovku

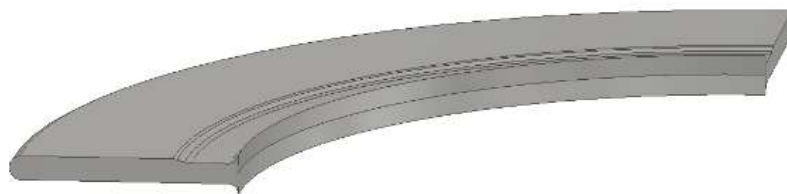
$$V_{\text{výr}} = 0,1 \cdot V_v \quad [\text{mm}^3] \quad (4.6)$$

$$V_{\text{výr}} = 0,1 \cdot 295674,9 = 29567,5 \quad [\text{mm}^3]$$

Kde: $V_{\text{výr}} [\text{mm}^3]$ – objem výronku

$V_v [\text{mm}^3]$ – objem výkovku

V programu Autodesk Inventor Professional 2017 byl objem výronku vypočítán 28380,4 mm³. Tento výsledek byl ověřen ručním výpočtem, který se výrazně neliší. Proto jej lze brát jako validní a použít jej pro další výpočty. Model části výronku je zobrazen na obr. 4.8.



Obr. 4.8: Model části výronku

Objem přídavku na opal:

$$V_p = (V_v + V_{\text{výr}}) \cdot 0,005 \quad [\text{mm}^3] \quad (4.7)$$

Kde: $V_p [\text{mm}^3]$ – objem přídavku na propal

$V_v [\text{mm}^3]$ – objem výkovku

$V_{\text{výr}} [\text{mm}^3]$ – objem výronku

$$V_p = (309381,1 + 28380,4) \cdot 0,005 = 1688,8 \text{ mm}^3$$

Celkový objem výkovku:

$$V_c = V_v + V_{\text{výr}} + V_p \quad [\text{mm}^3] \quad (4.8)$$

Kde: $V_c [\text{mm}^3]$ – celkový objem výkovku

$$V_c = 309381,1 + 50548,5 + 1688,8 = 361618,4 \text{ mm}^3$$

4.2.2 Rozměry a hmotnost polotovaru [11] [38]

Rozměr polotovaru musí splňovat podmínku štíhlosti. Při jejím nedodržení hrozí ztráta stability a nekontrolovatelné vybočení do stran.

Štíhlostní poměr:

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 1,5 \div 2,8 \quad [-] \quad (4.9)$$

Kde: λ [-] – štíhlostní poměr
 L_0 [mm] – délka polotovaru
 D_0 [mm] – průměr polotovaru

Štíhlostní poměr zvolen 2,3

Stanovení průměru polotovaru:

Vychází se z celkového objemu výkovku

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_{0p}^2}{4} \cdot L_{0p} \quad [\text{mm}^3] \quad (4.10)$$

Kde: V_c [mm³] – celkový objem výkovku
 L_{0p} [mm] – předběžná délka polotovaru
 D_{0p} [mm] – předběžný průměr polotovaru

Úpravou vzorce (4.9) a dosazením do vzorce (4.10) vznikne vzorec pro výpočet průměru polotovaru.

$$L_{0p} = \lambda \cdot D_{0p} \quad [\text{mm}]$$

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_{0p}^2}{4} \cdot \lambda \cdot D_{0p} \rightarrow D_{0p} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}}$$

$$D_{0p} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{361618,4}{2,3}} = 58,2 \text{ mm} \rightarrow \text{zvoleno } D_0 \text{ 60 mm}$$

Stanovení délky polotovaru:

Úpravou vzorce (4.9) vznikne vzorec pro délku polotovaru

$$L_{0p} = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} \quad [\text{mm}]$$

$$L_{0p} = \frac{4 \cdot 361618,4}{\pi \cdot 60^2} = 127,9 \text{ mm} \rightarrow \text{zvoleno } L_0 \text{ 128 mm}$$

Kontrola štíhlosti:

Zvolené rozměry polotovaru se zkontrolují, zdali vyhovují štíhlostnímu poměru.

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = \frac{132}{60} = 2,2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Jako polotovar bude použit špalík Ø60x128 mm dle ČSN 42 5510, který bude získáván z 6m dlouhých tyčovin.

Hmotnost polotovaru:

$$m_p = \rho \cdot V_0 \quad [\text{kg}] \quad (4.11)$$

Kde: m_p [kg] – celkový objem výkovku
 ρ [kg · m⁻³] – měrná hmotnost materiálu
 $\rho = 7840 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 7,84 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3}$
 V_0 [mm³] – objem polotovaru

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 \quad [\text{mm}^3] \quad (4.12)$$

L_0 [mm] – délka polotovaru
 D_0 [mm] – průměr polotovaru

$$m_p = \rho \cdot V_0 \rightarrow m_p = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 \quad [\text{kg}]$$

$$m_p = 7,84 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\pi \cdot 60^2}{4} \cdot 128 = 2,837 \text{ kg}$$

4.3 Dělení polotovaru [10] [15]

Způsob dělení materiálu byl zvolen stříhání. Aby bylo možné využít této technologie, musí být splněna následující podmínka rovnice (4.13):

$$L_0 \geq 0,8 \cdot D_0 \quad (4.13)$$

Kde: L_0 [mm] – délka polotovaru

D_0 [mm] – průměr polotovaru

$$128 \geq 0,8 \cdot 60$$

$$128 \geq 48$$

Potřebná střížná síla pro rozdělení materiálu je dána dle vztahu (4.14):

$$F_D = n_o \cdot \tau_s \cdot S_0 \quad [\text{N}] \quad (4.14)$$

Kde: n_o [-] – součinitel otupení

$n = 1,2 \div 1,5 \rightarrow$ zvoleno 1,3

F_D [N] – velikost střížné síly potřebné pro dělení polotovaru

τ_s [MPa] – napětí ve smyku

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \quad [\text{MPa}]$$

$$(4.15)$$

R_m [MPa] – mez pevnosti v tahu

S_0 [mm²] – plocha průřezu polotovaru ve střížné rovině

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$(4.16)$$

$$F_D = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

$$F_D = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 540 \cdot \frac{\pi \cdot 60^2}{4} = 1\,587\,886 \text{ N} \cong 1,59 \text{ MN}$$

Maximální průměr materiálu pro zvolený stroj:

Pro dělení tyčových polotovarů byla vybrána dělička tyčového materiálu za studena TNS 63 (viz obr. 2 v příloze 7: Strojní nůžky na polotovary TNS – 63), u které jsou v prospektech udávány maximální průměry pro materiály o pevnosti 450 MPa, 650 MPa a 850 MPa.

V případě, že stříhaný materiál má jinou mez pevnosti než 440 MPa, je nutné přepočítat maximální průměr stříhaného materiálu dle vzorce (4.17):

$$D_{0\max} = 21 \cdot \frac{D_{0\text{sml}}}{\sqrt{R_m}} \quad [\text{mm}] \quad (4.17)$$

Kde: $D_{0\max}$ [mm] – maximální průměr polotovaru

$D_{0\text{sml}}$ [mm] – maximální průměr polotovaru o $R_m = 440$ MPa

R_m [MPa] – mez pevnosti v tahu

$$D_{0\max} = 21 \cdot \frac{83}{\sqrt{540}} = 75 \text{ mm}$$

Na strojních nůžkách CNS 400-S je možné stříhat materiál s R_m 540 MPa o průměru až 75 mm. Stroj vyhovuje z hlediska jmenovité síly, kterou převyšuje střížnou sílu potřebnou pro oddělení tyčového polotovaru, a také z hlediska maximálního možného průměru, který je možný na nůžkách oddělit.

4.4 Výpočet kovací síly [9] [17]

4.4.1 Výpočet síly z nomogramu [9]

Z normy ČSN 22 8306 lze z nomogramu pomocí vstupních hodnot základního přetvárného odporu (k_p) a průmětu plochy výkovku s můstkem (S_c) určit hodnotu kovací síly F_k .

Materiál: 12 050

Kovací teplota během poslední operace: 1050 °C

Základní přetvárný odpor: $k_p = 68$ určeno z tab. 4.1

Průmět plochy výkovku s můstkem: $S_c = 121,35 \text{ cm}^2$

Tab. 4.1: Základní přetvárný odpor za dané kovací teploty [9]

Materiál podle ČSN	Základní přetvárný odpor k_p pro kovací teplotu ve °C						
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
12 050	149	128	108	91	80	71	68

$$S_c = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (4.18)$$

Kde: S_c [mm] – průmět plochy výkovku s můstkem do dělicí roviny

D_c [mm] – průměr výkovku s můstkem

$$D_c = 124,3 \text{ mm}$$

$$S_c = \frac{\pi \cdot 124,3^2}{4} = 12134,8 \text{ mm}^2 = 121,35 \text{ cm}^2$$

Na základě nomogramu (obr. 3 v příloze 8: Nomogram pro určení kovací síly) byla stanovena kovací síla 6,8 MN

4.4.2 Kovací síla dle Brjuchanov – Rebelského [17]

$$F_{kB} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_v) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_v}\right)^2 \cdot \sigma_p \cdot S_v \quad [\text{N}] \quad (4.19)$$

Kde: F_{kB} [N] – velikost kovací síly dle Brjuchanova – Rebelského

D_v [mm] – průměr průřezu výkovku

σ_p [MPa] – přirozený přetvárný odpor; $\sigma_p = k_p$

S_v [mm²] – průmět plochy výkovku do dělicí roviny

$$F_k = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 111,67) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{111,67}\right)^2 \cdot 91 \cdot 9794,554 = 10,36 \text{ MN}$$

4.4.3 Kovací síla dle Storoževa [17]

$$F_{kS} = \sigma_p \cdot \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{v\text{ýr}} + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_v}{h}\right) \cdot S_v \right] \quad [\text{N}] \quad (4.20)$$

Kde: F_{kS} [N] – kovací síla dle Storoževa

σ_p [MPa] – přirozený přetvárný odpor

$$\sigma_p = k_p = 68 \text{ MPa}$$

b [mm] – šířka můstku

h [mm] – výška můstku

D_v [mm] – průměr průmětu výkovku do dělicí roviny

D_c [mm] – průměr průmětu výronku v šířce můstku do dělicí roviny

$$D_c = 124,3 \text{ mm}$$

S_v [mm²] – průmět plochy výkovku do dělicí roviny (bez výronku)

$$S_v = 9794,554 \text{ mm}^2$$

$S_{v\text{ýr}}$ [mm²] – průmět plochy výronku v šířce můstku do dělicí roviny

$$S_{v\text{ýr}} = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_v^2}{4}$$

$$F_{kS} = \sigma_p \cdot \left[\left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_c^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_v^2}{4}\right) + \left(1,5 + \frac{b}{h} + 0,1 \cdot \frac{D_v}{h}\right) \cdot S_v \right]$$

$$F_{kS} = 91 \cdot \left[\left(1,5 + \frac{6,3}{2 \cdot 2,1}\right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot 124,3^2}{4} - \frac{\pi \cdot 111,67^2}{4}\right) + \left(1,5 + \frac{6,3}{2,1} + 0,1 \cdot \frac{111,67}{2,1}\right) \cdot 9794,554 \right]$$

$$F_{kS} = 9,39 \text{ MN}$$

4.4.4 Kovací síla dle Tomlenova [9]

• Napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku

Napětí v jednotlivých průřezích jsou dána vztahy (4.21) (4.22) (4.23):

$$\sigma_0 = \psi \cdot \sigma_s \quad [\text{MPa}] \quad (4.21)$$

Kde: ψ [-] – veličina vyjadřující vliv tření na vzrůst napětí

$$\psi = 1 + 0,73 \cdot \mu$$

μ [-] – koeficient tření

$$\mu = 0,4$$

σ_s [MPa] – základní přetvárný odpor, změněný o koeficient snížení plasticity

$$\sigma_s = R_{mT} \cdot C_o$$

C_o [-] – součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot z Tab. 4.2 dle ČSN 22 8306

$$C_o = 4,5$$

R_{mT} [MPa] – pevnost oceli za kovací teploty z tab. 4.2 dle ČSN 22 8306

$$R_{mT} = 26,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_0 + \sigma_s \cdot \frac{b_1}{h_1} \quad [\text{MPa}] \quad (4.22)$$

Kde: b_1 [mm] – šířka můstku pro výpočet kovací síly

h_1 [mm] – výška můstku pro výpočet kovací síly

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + \sigma_s \cdot \frac{b_n}{h_n} \quad [\text{MPa}] \quad (4.23)$$

Kde: b_n [mm] – šířka části průřezu pro výpočet kovací síly

h_n [mm] – výška části průřezu pro výpočet kovací síly

Tab. 4.2: Pevnost R_{mT} [MPa] oceli 12 050 za kovacích teplot [9]

Jakost oceli	Optim. Tvářecí teploty	Střední deformační rychlost	Teplota tváření [°C]					
			800	900	950	1000	1100	1200
12 050	1150-800	0,02	130	80	67	56	41	26,5
Pro teplotu 1050 °C bylo zvoleno $R_{mT} = 47 \text{ MPa}$								

Rozměry výkovku:

$b_1 = 6,3 \text{ mm}$	$\theta D_1 = 124,3 \text{ mm}$	$h_1 = 2,1 \text{ mm}$	$\Delta h_1 = 13,5 \text{ mm}$
$b_2 = 18,7 \text{ mm}$	$\theta D_2 = 111,6 \text{ mm}$	$h_2 = 40 \text{ mm}$	$\Delta h_2 = 10 \text{ mm}$
$b_3 = 15,95 \text{ mm}$	$\theta D_3 = 74,2 \text{ mm}$	$h_3 = 30 \text{ mm}$	$\Delta h_3 = 21 \text{ mm}$
$b_4 = 21,15 \text{ mm}$	$\theta D_4 = 42,3 \text{ mm}$	$h_4 = 9 \text{ mm}$	

Výpočet napětí v jednotlivých částech průřezu výkovku:

$$\sigma_0 = (1 + 0,73 \cdot 0,4) \cdot 47 \cdot 4,5 = 273,258 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 273,258 + 47 \cdot 4,5 \cdot \frac{6,3}{2,1} = 907,758 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 907,758 + 47 \cdot 4,5 \cdot \frac{18,7}{40} = 1006,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 1006,63 + 47 \cdot 4,5 \cdot \frac{15,95}{30} = 1119,078 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4 = 1119,078 + 47 \cdot 4,5 \cdot \frac{21,15}{9} = 1616,103 \text{ MPa}$$

Jednotlivé složky napětí ve všech částech průřezu jsou znázorněny v grafu na obr. 4 v příloze 9: Grafické znázornění ploch pod křivkami napětí.

• **Síla vznikající od normálových složek napětí**

Síla vznikající od normálových napětí je dle ČSN 22 8306 rovna objemu tělesa vzniklého rotací plochy ohraničené křivkou napětí a osou x kolem osy výkovku. Je dána vztahem (4.24)

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i = V_n \quad [\text{N}] \quad (4.24)$$

Kde: F_n [N] – velikost síly, vznikající od normálových složek napětí
 A_i [MPa · mm] – velikost dílčí plochy pod křivkou napětí
 x_i [mm] – vzdálenost těžiště plochy A_i od osy výkovku
 V_n [mm³] – objem tělesa vzniklého rotací plochy ohraničené křivkou napětí a osou x kolem výkovku

Výpočet souřadnic těžišť:

Vzorový výpočet pro výpočet těžiště T_1 čtvercové oblasti I dle vzorce (4.25):

$$x_1 = \frac{D_2}{2} + \frac{b_1}{2} \quad [\text{mm}] \quad (4.25)$$

Vzorový výpočet pro výpočet těžiště T_2 trojúhelníkové oblasti II dle vzorce (4.26):

$$x_2 = \frac{D_2}{2} + \frac{b_1}{3} \quad [\text{mm}] \quad (4.26)$$

Výpočet těžišť dílčích oblastí:

$$x_1 = \frac{D_2}{2} + \frac{b_1}{2} = \frac{111,6}{2} + \frac{6,3}{2} = 59,95 \text{ mm}$$

$$x_2 = \frac{D_2}{2} + \frac{b_1}{3} = \frac{111,6}{2} + \frac{6,3}{3} = 57,9 \text{ mm}$$

$$x_3 = \frac{D_3}{2} + \frac{b_2}{2} = \frac{74,2}{2} + \frac{18,7}{2} = 46,45 \text{ mm}$$

$$x_4 = \frac{D_3}{2} + \frac{b_2}{3} = \frac{74,2}{2} + \frac{18,7}{3} = 43,33 \text{ mm}$$

$$x_5 = \frac{D_4}{2} + \frac{b_3}{2} = \frac{42,3}{2} + \frac{15,95}{2} = 29,125 \text{ mm}$$

$$x_6 = \frac{D_4}{2} + \frac{b_3}{3} = \frac{42,3}{2} + \frac{15,95}{3} = 26,47 \text{ mm}$$

$$x_7 = \frac{b_4}{2} = \frac{21,15}{2} = 10,575 \text{ mm}$$

$$x_8 = \frac{b_4}{3} = \frac{21,15}{3} = 7,05 \text{ mm}$$

Výpočet dílčích ploch pod křivkou napětí:

Vzorový výpočet pro čtvercovou plochu I dle vzorce (4.27)

$$A_1 = b_1 \cdot \sigma_0 \quad [\text{MPa} \cdot \text{mm}] \quad (4.27)$$

Vzorový výpočet pro trojúhelníkovou plochu II dle vzorce (4.28)

$$A_2 = b_1 \cdot (\sigma_1 - \sigma_0) \quad [\text{MPa} \cdot \text{mm}] \quad (4.28)$$

$$A_1 = b_1 \cdot \sigma_0 = 6,3 \cdot 273,258 = 1721,525 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_2 = \frac{b_1 \cdot (\sigma_1 - \sigma_0)}{2} = \frac{6,3 \cdot (907,758 - 273,258)}{2} = 1998,675 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_3 = b_2 \cdot \sigma_1 = 18,7 \cdot 907,758 = 16975,075 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_4 = \frac{b_2 \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)}{2} = \frac{18,7 \cdot (1006,64 - 907,758)}{2} = 924,547 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_5 = b_3 \cdot \sigma_2 = 15,95 \cdot 1006,64 = 16055,908 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_6 = \frac{b_3 \cdot (\sigma_3 - \sigma_2)}{2} = \frac{15,95 \cdot (1119,078 - 1006,64)}{2} = 896,693 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_7 = b_4 \cdot \sigma_3 = 21,15 \cdot 1119,078 = 23668,5 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_8 = \frac{b_4 \cdot (\sigma_4 - \sigma_3)}{2} = \frac{21,15 \cdot (1616,103 - 1119,078)}{2} = 5256,092 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

Součet dílčích ploch pod křivkou napětí (viz tab. 4.3):

Tab. 4.3: Dílčí plochy pod křivkou napětí

Plocha	A_i [MPa · mm]	x_i [mm]	$A_i \cdot x_i$ [N]
I	1721,525	59,95	103205,42
II	1998,675	57,9	115723,28
III	16975,075	46,45	788492,23
IV	924,547	43,33	40060,62
V	16055,908	29,125	467628,32
VI	896,693	26,47	23735,46
VII	23668,5	10,575	250294,39
VIII	5256,092	7,05	37055,45
$\sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i$			1826195,17

Síla vznikající od normálových složek (F_n):

Z rovnice (4.24):

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i = 2 \cdot \pi \cdot 1826195,17 = 11474322,66 \text{ N} \doteq 11,47 \text{ MN}$$

- Síla vznikající od tangenciálních složek napětí

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^m \Delta S_i \quad [\text{N}] \quad (4.29)$$

Kde: F_t [N] – velikost síly vznikající od tangenciálních složek napětí

ΔS_i [mm²] – povrch dílčích bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky

$$\Delta S_i = \pi \cdot D_{i+1} \cdot \Delta h_i \quad (4.30)$$

Δh_i [mm] – výška dílčí boční plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápustky

$$\sum_{i=1}^m \Delta S_i = \pi \cdot D_2 \cdot \Delta h_1 + \pi \cdot D_3 \cdot \Delta h_2 + \pi \cdot D_4 \cdot \Delta h_3$$

$$\sum_{i=1}^m \Delta S_i = \pi \cdot 111,6 \cdot 13,5 + \pi \cdot 74,2 \cdot 10 + \pi \cdot 42,3 \cdot 21 = 9854,86 \text{ mm}^2$$

$$F_t = \frac{26,5}{2} \cdot \pi \cdot 9854,86 = 410219,41 \text{ N} \doteq 0,41 \text{ MN}$$

- Celková síla dle Tomlenova

$$F_T = F_n + F_t \quad [\text{N}] \quad (4.31)$$

Kde: F_T [N] – velikost kovací síly dle Tomlenova

$$F_T = 11,47 + 0,41 = 11,88 \text{ MN}$$

4.4.5 Srovnání kovacích sil dle zvolených metod

Všechny použité metody jsou shrnuty v tab. 4.4

Tab. 4.4: Shrnutí výsledků výpočtů kovacích sil dle jednotlivých metod

Metoda výpočtu	Velikost kovací síly
Nomogram	6,8 MN
Brjuchanov – Rebelského metoda	10,36 MN
Metoda dle Storoževa	9,39 MN
Metoda dle Tomlenova	11,88 MN

4.5 Technologický postup kování [9] [22] [27] [28] [34] [38]

Výkovek bude zhotoven ve třech kovacích operacích – dvou předkovacích a jedné dokovací, viz obr. 5 v příloze 10: Postupové schéma. V první předkovací operaci dojde k napěchování polotovaru na výšku 60 mm. Ve druhé předkovací operaci se získá tvar předkovku s jednostranně předkovanou dutinou, která umožní centrování předkovku při jeho založení do dokovací zápustky. V dokovací operaci se získá konečný tvar výkovku s výronkem. Výronek bude následně odstřižen v ostříhovacím nástroji, umístěném na ostříhovacím lisu, kde bude současně s odstraněním výronku také prostřižena blána.

Pro zpřehlednění celého procesu zápustkového kování byl vyhotoven technologický postup, zobrazený v příloze 11: Technologický postup.

4.6 Konstrukce zápustek [9]

Celková sestava předkovacích a kovacích zápustek je znázorněna na výkrese A2-BP-2017-007. Tvar a upínací rozměry zápustek byly stanoveny z rozměrů upínače zápustek použitého kovacího lisu, viz tab. 6.15 v příloze 12: Technické parametry svislého kovacího lisu.

- **Konstrukce vyhazovače:** V dolní kovací zápustce jsou umístěny tři kolíkové vyhazovače, působící na spodní plochu výkovku. Rozměry vyhazovačů byly zvoleny z normy ČSN 22 8306 v tab. 6.16 a obr. 8 v příloze 13: Základní řada kolíkových vyhazovačů.

Průměr hlavy (paty) kolíkového vyhazovače se určí dle vztahu (4.32)

$$D_k = \sqrt{2 \cdot d_k^2 + d_v} \quad [\text{mm}] \quad (4.32)$$

Kde: D_k [mm] – velikost průměru hlavy (paty) kolíkového vyhazovače

d_k [mm] – velikost průměru otvoru pro vyhazovací kolík

$$D_k = \sqrt{2 \cdot 12^2 + 10} = 17,3 \text{ mm}$$

Průměr vyhazovacího kolíku se určí dle vztahu (4.33)

$$d'_k = d_k - \Delta \quad [\text{mm}] \quad (4.33)$$

Kde: d'_k [mm] – velikost průměru vyhazovacího kolíku

Δ [mm] – velikost vůle ve vedení

$$d'_k = 12 - 0,2 = 11,8 \text{ mm}$$

Jmenovité rozměry kolíkového vyhazovače jsou znázorněny na výkrese A4-BP-2017-006.

- **Rozměry a mezní úchytky předkovací zápustky:**

Rozměry dutiny předkovací zápustky jsou stanovovány přibližně, bez mezních úchylek. Vnější rozměry zápustky jsou stanoveny firmou podle stroje z tab. 6.15 v příloze 12: Technické parametry svislého kovacího lisu. Proto není potřeba určovat nejmenší tloušťku stěny zápustky.

Tvar a rozměry předkovací zápustky je znázorněn na výkrese A2-BP-2017-004.

- **Rozměry a mezní úchytky dokovací zápustky:**

Jmenovité rozměry dutiny zápustky jsou stanoveny dle výkresu výkovku s přídavky a zvětšeny o přídavek na smrštění 1 %. Pro všechny rozměry jsou také stanoveny mezní úchytky podle normy ČSN 22 8306 z tab. 6.2 a drsnost jednotlivých ploch z tab. 6.3 v příloze 3: Mezní úchytky a opracování zápustek pro svislé kovací lisu.

Tvar výkovku zvětšeného o přídavek na smrštění je znázorněn na výkrese A4-BP-2017-003.

Tvar a rozměry dokovací zápustky jsou znázorněny na výkrese A2-BP-2017-005.

- **Materiál zápustek:**

Podle normy ČSN 22 8306 byl zvolen z tab. 6.1 v příloze 2: Materiál zápustek materiál ČSN 19 552.

4.7 Dokončovací operace výkovku [5] [28]

4.7.1 Velikost ostříhvací síly [5]

- **Velikost síly pro ostříhnutí výronku**

Ostřížení výronku bude probíhat přibližně při teplotě 750 °C, při které má materiál mez pevnosti 500 MPa. Během této operace se provede i děrování blány v jedné operaci.

Velikost ostříhvací síly se vypočte pomocí vzorce (4.34):

$$F_{OV} = n_o \cdot O_V \cdot h \cdot \tau_s \quad [\text{N}] \quad (4.34)$$

Kde: F_{OV} [N] – velikost síly k ostřížení výronku

O_V [mm] – obvod výkovku v dělicí rovině (bez výronku)

n_o [–] – součinitel otupení

$n = 1,2 \div 1,5 \rightarrow$ zvoleno 1,3

h [mm] – výška můstku

τ_s [MPa] – napětí ve smyku

$\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa]

$$F_{OV} = n \cdot O_V \cdot h \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 350,83 \cdot 0,8 \cdot 500 = 182431,6 \text{ N} \doteq 182,4 \text{ kN}$$

- **Velikost děrovací síly pro odstranění blány**

Velikost děrovací síly se zjistí z rovnice (4.35):

$$F_{OB} = n \cdot O_B \cdot h_b \cdot \tau_s \quad [\text{N}] \quad (4.35)$$

Kde: F_{OB} [N] – velikost síly k odstranění blány

O_V [mm] – obvod výkovku v místě blány

h_b [mm] – tloušťka blány

$$F_{OB} = n \cdot O_B \cdot h_b \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 132,84 \cdot 9 \cdot 0,8 \cdot 500 = 621691,2 \text{ N} \doteq 621,7 \text{ kN}$$

- **Celková velikost ostříhvací síly**

Velikost celkové ostříhvací síly se vypočte ze vzorce (4.36). Celková síla se navýší o 25 % s ohledem na opotřebení zápustek, způsobující zvětšení výronku a blány

$$F_{OC} = 1,25 \cdot (F_{OV} + F_{OB}) \quad [\text{N}] \quad (4.36)$$

Kde: F_{OC} [N] – celková velikost ostříhvací síly

$$F_{OC} = 1,25 \cdot (182431,6 + 621691,2) = 1005153,5 \text{ N} \doteq 1 \text{ MN}$$

4.7.2 Tepelné zpracování výkovků [28]

K získání zjemněné a zhomogenizované struktury se bude výkovek normalizačně žíhat na teploty 30 až 70 °C nad teplotou rekrytalizace (tj. 840 až 880 °C), aby bylo dosaženo pevnosti $R_m = 580 \text{ MPa}$ (viz tab. 4.5).

Tab. 4.5: Mechanické vlastnosti oceli 12 050 ve stavu normalizačně žíhaném [28]

Průměr [mm]	$d \leq 16$	$16 < d \leq 100$	$100 < d \leq 250$
R_m [MPa]	min 620	580	560

4.7.3 Čištění výkovků

Výkovek bude čištěn otryskáváním ocelovou drtí v bubnovém tryskacím zařízení PTB 3.

4.8 Výběr strojů [10] [22] [27] [34]

- **Výběr ohřívacího zařízení:**

Pro dělení tyčových polotovarů byla vybrána dělička tyčového materiálu za studena TNS 63 se jmenovitou silou 2,5 MN, která je určena pro kovárenské provozy a lisovny, k výrobě špalíků stříháním tyčí kruhového průřezu od 35 do 83 mm o pevností v tahu 300 až 850 MPa. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 6.13 v příloze 7: Strojní nůžky na polotovary TNS 63.

- **Výběr ohřívacího zařízení:**

K ohřevu polotovaru byl navržen kompaktní středofrekvenční ohříváč KSO 400/3-C30, výkonové řady 400 kW od firmy Roboterm Chotěboř. Základní technické parametry jsou uvedeny v tab. 6.18 v příloze 14: Ohřívací zařízení KSO 400/3–C30.

Vstupní mechanizace umožňuje automatické, nebo ruční zakládání studených přířezů pomocí vibračního zásobníku a vstupního dopravníku. Ohříváč je vybaven třídičkou ohřátých přířezů, která nesprávně ohřáté přířezy nevpustí do lisu. Teplota ohřátého přířezu je snímána bezdotykovým měřičem teploty UPF V. Dle výše teploty je regulován výkon ohříváče a je řízena funkce třídičky ohřátých přířezů. Řízení ohříváče je nastavitelné pomocí volně programovatelného automatu (PLC) od firmy Siemens.

- **Výběr svislého kovacího lisu:**

Na základě vypočtených kovacích sil a s přihlédnutím k doporučenému průměru polotovaru byl pro zhotovení výkovku vybrán svislý kovací lis LKZ 1600 P od firmy Šmeral Brno o jmenovité síle 16 MN. Základní technické parametry jsou uvedeny v tab. 6.15 v příloze 12: Technické parametry svislého kovacího lisu.

- **Výběr ostříhovacího lisu:**

Na základě vypočtených ostříhovacích a děrovacích sil byl pro odstranění blány a výronku vybrán ostříhovací lis LKOA 200 od firmy Šmeral Brno o jmenovité síle 2 MN. Základní technické parametry jsou uvedeny v tab. 6.19 v příloze 15: Technické parametry ostříhovacího lisu LKOA 200.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem technicko – ekonomického zhodnocení je vyčíslení a porovnání nákladů na výrobu kola obráběním a zápusťkovým kováním a určení prodejní ceny výkovku tak, aby při jeho prodeji docházelo k zisku.

Vstupní hodnoty pro výpočet:

Počet vyráběných kusů: $R_d = 45000$ ks/rok

Hmotnost konečného výrobku: $m_c = 1,506$ kg

Cena 1 kg oceli 12 050.0: $C_m = 86,-$ Kč

Výkupní cena ocelového odpadu: $C_v = 3,-$ Kč/kg

Výkupní cena třískového odpadu: $C_{vo} = 1,50,-$ Kč/kg

5.1 Náklady na výrobu obráběním

- Náklady na materiál:**

Rozměr polotovaru: $\varnothing 109 - 40$ mm

Hmotnost polotovaru pro obrábění: $m_{po} = 2,93$ kg

Náklady na 1 ks:

$$N_{m1} = C_m \cdot m_p \quad [\text{Kč}] \quad (5.1)$$

Kde: N_{m1} [Kč/ks] – náklady na 1 kus výrobku

C_m [Kč] – cena 1 kg oceli 12 050.0

m_{po} [kg] – hmotnost polotovaru pro obrábění

$$N_{m1} = 86 \cdot 2,93 = 251,98, -\text{Kč}$$

Celkové náklady na materiál:

$$N_m = N_{m1} \cdot R_d \quad [\text{Kč}] \quad (5.2)$$

Kde: N_m [Kč] – celkové náklady na materiál

N_{m1} [Kč] – náklady na 1 kus výrobku

R_d [ks] – počet vyráběných kusů

$$N_m = 251,98 \cdot 45000 = 11339100, -\text{Kč}$$

- Mzdy výrobních dělníků:**

Výrobní čas jedné součásti obráběním: .. $t_{ko} = 25$ min

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 110,-$ Kč/hod

Mzdy na 1 ks:

$$M_{v1} = \left(\frac{t_{ko}}{60} \right) \cdot m_v \quad [\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (5.3)$$

Kde: M_{v1} [Kč/ks] – mzdy na 1 kus

t_{ko} [min] – výrobní čas jedné součásti obráběním

m_v [Kč/hod] – hodinová mzda výrobního dělníka

$$M_{v1} = \left(\frac{25}{60} \right) \cdot 110 = 45,8, -\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$$

Celkové mzdy:

$$M_{cv} = M_{v1} \cdot R_d \quad [\text{Kč}] \quad (5.4)$$

Kde: M_{cv} [Kč] – celkové mzdy

M_{v1} [Kč/ks] – mzdy na 1 kus

R_d [ks] – počet vyráběných kusů

$$M_{cv} = 45,8 \cdot 45000 = 2061000, -\text{Kč}$$

- Vratný odpad:**

Hmotnost odpadu z 1 kusu polotovaru po obrábění:

$$m_{oo1} = m_{po} - m_c \quad [\text{kg}] \quad (5.5)$$

Kde: m_{oo1} [kg] – hmotnost odpadu z 1 kusu polotovaru po obrábění

m_{po} [kg] – hmotnost polotovaru pro obrábění

m_c [kg] – hmotnost konečného výrobku

$$m_{oo1} = 2,93 - 1,506 = 1,424 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{\text{coo}} = m_{\text{ool}} \cdot R_d \quad [\text{kg}] \quad (5.6)$$

Kde: m_{coo} [kg] – hmotnost celkového třískového odpadu
 m_{ool} [kg] – hmotnost odpadu z 1 kusu polotovaru pro obrábění
 R_d [ks] – počet vyráběných kusů

$$m_{\text{coo}} = 1,424 \cdot 45000 = 64080 \text{ kg}$$

Cena vratného třískového odpadu:

$$N_{\text{oo}} = m_{\text{coo}} \cdot C_{\text{vo}} \quad [\text{Kč}] \quad (5.7)$$

Kde: N_{oo} [Kč] – cena vratného třískového odpadu
 m_{coo} [kg] – hmotnost celkového třískového odpadu
 C_{vo} [Kč/kg] – výkupní cena třískového odpadu

$$N_{\text{oo}} = 64800 \cdot 1,5 = 96120, -\text{Kč}$$

• **Dílenská reжіe:**

Pro třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků

$$D_{\text{ro}} = \left(\frac{650}{100} \right) \cdot M_{\text{cv}} \quad [\text{Kč}] \quad (5.8)$$

Kde: D_{ro} [Kč] – dílenská reжіe pro třískové obrábění
 M_{cv} [Kč] – celkové mzdy

$$D_{\text{ro}} = \left(\frac{650}{100} \right) \cdot 2061000 = 13396500, -\text{Kč}$$

• **Podniková reжіe:**

Činí 200 % mezd výrobních dělníků

$$P_r = \left(\frac{200}{100} \right) \cdot M_{\text{cv}} \quad [\text{Kč}] \quad (5.9)$$

Kde: P_r [Kč] – podniková reжіe
 M_{cv} [Kč] – celkové mzdy

$$P_r = \left(\frac{200}{100} \right) \cdot 2061000 = 4122000, -\text{Kč}$$

• **Zvláštní náklady:**

Cena náradí, nástrojů, řezných kapalin: 370000,- Kč

5.2 Náklady na výrobu zápusťkovým kovááním

• **Náklady na materiál:**

Rozměr polotovaru: Ø60 – 128 mm

Hmotnost polotovaru pro kováání: $m_{\text{pk}} = 2,837 \text{ kg}$

Hmotnost výkovku: $m_0 = 2,429 \text{ kg}$

Náklady na 1 ks:

$$N_{\text{m1}} = C_m \cdot m_{\text{pk}} \quad [\text{Kč}] \quad (5.10)$$

Kde: N_{m1} [Kč] – náklady na 1 kus výrobku
 C_m [Kč] – cena 1 kg oceli 12 050.0
 m_{pk} [kg] – hmotnost polotovaru pro kováání

$$N_{\text{m1}} = 86 \cdot 2,837 = 244, -\text{Kč}$$

Celkové náklady na materiál:

$$N_m = N_{\text{m1}} \cdot R_d \quad [\text{Kč}]$$

$$N_m = 244 \cdot 45000 = 10980000, -\text{Kč}$$

Mzdy výrobních dělníků (kování):

Výrobní čas jedné součásti kovááním: .. $t_{\text{kk}} = 5 \text{ min}$

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 110, -\text{Kč}$

Mzdy na 1 ks:

$$M_{v1} = \left(\frac{t_{kk}}{60}\right) \cdot m_v \text{ [Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$$

$$M_{v1} = \left(\frac{6}{60}\right) \cdot 110 = 11, -\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$$

Celkové mzdy:

$$M_{cv} = M_{v1} \cdot R_d \text{ [Kč]}$$

$$M_{cv} = 11 \cdot 45000 = 495000, -\text{Kč}$$

Mzdy výrobních dělníků (následné obrábění):

Výrobní čas jedné součásti následným obráběním: ... $t_{kko} = 11 \text{ min}$

Hodinová mzda výrobního dělníka: $m_v = 110, -\text{Kč}$

Mzdy na 1 ks:

$$M_{v1} = \left(\frac{t_{kko}}{60}\right) \cdot m_v \text{ [Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$$

$$M_{v1} = \left(\frac{11}{60}\right) \cdot 110 = 20,2, -\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$$

Celkové mzdy:

$$M_{cv} = M_{v1} \cdot R_d \text{ [Kč]}$$

$$M_{cv} = 20,2 \cdot 45000 = 909000, -\text{Kč}$$

Celkové mzdy obou metod:

$$M_{ccv} = 1404000, -\text{Kč}$$

• **Vratný odpad (kování):**

Hmotnost odpadu z 1 kusu polotovaru po kování:

$$m_{ok1} = m_{pk} - m_0 \text{ [kg]} \quad (5.11)$$

Kde: m_{ok1} [kg] – hmotnost odpadu z 1 kusu po kování

m_{pk} [kg] – hmotnost polotovaru pro kování

m_0 [kg] – hmotnost výkovku

$$m_{ok1} = 2,837 - 2,429 = 0,408 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{cok} = m_{ok1} \cdot R_d \text{ [kg]} \quad (5.12)$$

Kde: m_{cok} [kg] – hmotnost celkového odpadu po kování

m_{ok1} [kg] – hmotnost odpadu z 1 kusu po kování

R_d [ks] – počet vyráběných kusů

$$m_{cok} = 0,408 \cdot 45000 = 18360 \text{ kg}$$

Cena vratného ocelového odpadu:

$$N_{ok} = m_{cok} \cdot C_v \text{ [Kč]} \quad (5.13)$$

Kde: N_{ok} [Kč] – cena vratného ocelového odpadu po kování

m_{cok} [kg] – hmotnost celkového odpadu po kování

C_v [Kč/kg] – výkupní cena ocelového odpadu

$$N_{ok} = 18360 \cdot 3 = 55080, -\text{Kč}$$

• **Vratný odpad (následné obrábění):**

Hmotnost odpadu z 1 kusu polotovaru z následného obrábění:

$$m_{oo1} = m_o - m_c \text{ [kg]} \quad (5.14)$$

Kde: m_{oo1} [kg] – hmotnost odpadu z 1 kusu polotovaru z obrábění

m_o [kg] – hmotnost výkovku

m_c [kg] – hmotnost konečného výrobku

$$m_{oo1} = 2,429 - 1,506 = 0,923 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{coo} = m_{o1} \cdot R_d \text{ [kg]}$$

$$m_{coo} = 0,923 \cdot 45000 = 41535 \text{ kg}$$

Cena vratného třískového odpadu:

$$N_{oo} = m_{coo} \cdot C_{vo} \text{ [Kč]}$$

$$N_{oo} = 41535 \cdot 1,5 = 62302, -\text{Kč}$$

- **Dílenská režie:**

Pro zápusťkové kování činí 1000 % mezd výrobních dělníků

$$D_{rk} = \left(\frac{1000}{100} \right) \cdot M_{cv} \text{ [Kč]} \quad (5.15)$$

Kde: D_{rk} [Kč] – dílenská režie pro zápusťkové kování

M_{cv} [Kč] – celkové mzdy

$$D_{rk} = \left(\frac{1000}{100} \right) \cdot 495000 = 4950000, -\text{Kč}$$

Pro třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků

$$D_{ro} = \left(\frac{650}{100} \right) \cdot M_{cv} \text{ [Kč]}$$

$$D_{ro} = \left(\frac{650}{100} \right) \cdot 909000 = 5908500 \text{ [Kč]}$$

Celková dílenská režie činí 10858500,-Kč

- **Podniková režie:**

Činí 200 % mezd výrobních dělníků

$$P_r = \left(\frac{200}{100} \right) \cdot M_{cv} \text{ [Kč]} \quad (5.16)$$

Kde: P_r [Kč] – podniková režie

M_{cv} [Kč] – celkové mzdy

$$P_r = \left(\frac{200}{100} \right) \cdot 1404000 = 2808000, -\text{Kč}$$

- **Zvláštní náklady:**

Cena zápusťek, ostříhovacích nástrojů, obráběcích nástrojů: 900000,- Kč

5.3 Porovnání nákladů

Tab. 5.1: Porovnání technicko - ekonomických ukazatelů

Technologie	Obrábění	Zápusťkové kování
Počet kusů [ks]	45000	45000
Spotřeba materiálu [kg/ks]	2,93	2,837
Hmotnost odpadu [kg/ks]	64080	59895
Pracnost [min/ks]	25	17

Tab. 5.2: Porovnání nákladů v Kč

Položka	Technologie		Úspory záp. kování vůči obrábění [Kč]
	Obrábění	Zápusťkové kování	
Materiál	11339100	10980000	359100
Mzdy výr. dělníků	2061000	1404000	657000
Dílenská režie	13396500	10858500	2538000
Podniková režie	4122000	2808000	1314000
Zvláštní náklady	370 000	900 000	-530 000
Vratný odpad	96120	117382	21262
Celkové náklady	31192480	26833118	4359362
Náklady na 1 ks	693	596	97

6 ZÁVĚR

Obsah práce je věnován technologickému návrhu výroby ozubeného kola. Jejím cílem je vypracování literární rešerše, návržení vhodné technologie výroby a vyhotovení výrobního postupu. Z důvodu potřeby zpevněného materiálu byla pro výrobu vybrána technologie objemového tváření za tepla – zápusťkového kování. Vlákná výkovku kopírují tvar součásti a oproti obrobku tak vykazují mnohem lepší mechanické vlastnosti.

Technologie objemového tváření za tepla a problematika s ní spojená je shrnuta v literární studii, která rozebírá základní témata kování. Převážná část literární studie se zabývá technologií zápusťkového kování a stručným popisem druhů kovacích nástrojů, způsobů jejich příprav a způsobů příprav polotovaru a dokončovacích operací výkovku.

Po shrnutí základních informací o vybrané technologii bylo nutné navrhnout všechny náležitosti potřebné k výrobě zadané součásti. Výkovek byl zařazen podle tvarové složitosti a po stanovení velikosti technologických přídavek, přídavek na obrábění, mezních úchylek a návržení velikosti a polohy kovací blány byl navržen jeho tvar. S přihlédnutím ke tvaru výkovku byl následně vybrán materiál, rozměry polotovaru a způsob jeho dělení. Výchozí kruhová tyč z konstrukční oceli ČSN 12 050 bude dělena na polotovary pro kování s rozměry Ø60-128 mm pomocí strojních nůžek TNS 63 se jmenovitou silou 2,5 MN. Polotovary budou následně ohřívány ve středofrekvenční peci KSO 400/3-C30, výkonové řady 400 kW od firmy Roboterm Chotěboř na teplotu $1200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a poté se budou kovat na svislém kovacím lise LKZ 1600 P od firmy Šmeral Brno se jmenovitou kovací silou 16 MN. Velikost stroje byla stanovena podle kovací síly, která byla zjištěna čtyřmi různými způsoby. Vzhledem k vysokému stupni přetvoření se výkovek zhotoví na 3 operace. V první operaci dojde ke spěchování pomocí rovných kovadel, následně se výkovek předkove do přibližného tvaru a vyhotoví se na něm dutina, na kterou se součást ustaví v dokončovací operaci. Při kování dojde k odtoku přebytečného materiálu ze zápusťkové dutiny do výronkové drážky, jejíž tvar a rozměry byly navrženy s přihlédnutím ke konečnému tvaru výkovku. Výronek bude po dokování ostřížen společně s blánou v jedné operaci na ostřihovacím lisu LKOA 200 od firmy Šmeral Brno o jmenovité síle 2 MN. Pro zajištění zjemněné a zhomogenizované struktury se bude výkovek normalizačně žíhat při teplotě 840 až 880 °C v elektrické komorové peci. Výkovek bude dále otryskán ocelovou drtí v bubnovém tryskacím zařízení PTB 3 pro přípravu povrchu materiálu k následnému obrábění.

Pro shrnutí celkové výroby byly vypočteny orientační náklady na provoz, mzdy a výrobu pro výrobu součásti zápusťkovým kováním a pro výrobu obráběním. Tyto dvě metody byly následně porovnány. Na základě orientačních výpočtů se zápusťkové kování jeví jako výhodnější metoda nejen z pohledu mechanických vlastností součásti, ale i z hlediska úspory materiálu, nižších výrobních časů, menší odpadovosti a celkových nákladů v řádu desítek korun na součást.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BEZDĚK, Pavel: *Zápustkové kování ozubeného kola* [online]. Brno, 2012. 56 s. [cit. 2017-04-14]. Bakalářská práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.
2. BRJUCHAROV, Andrej Nikolajevič a A. V. REBEL'SKIJ. *Zápustkové kování: konstrukce a výpočet nástrojů : určeno pro kovárenské techniky a studující*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. 352 s. ISBN 56/III-4(B3).
3. BŘEZINA, S. *Výroba krytu* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství, 2010. 53 s. [cit. 2017-04-14]. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D. Dostupný z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28860>.
4. ČADA, Radek. *Technologie I*. 1.vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008, 360 s. ISBN 978-80-248-1507-7.
5. ČADA, Radek, Jakub MACHÁLEK a Barbora FRODLOVÁ. *Týmová cvičení předmětu Technologie tváření a slévání: Návod do cvičení předmětu "Technologie tváření a slévání"*. 1. Vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2718-6.
6. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápustkových výkovek podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1968, 36 s. DT 669-134:621.73.043.
7. ČSN 21 1413. *Upínání zápustek pro padací a parovzdušné buchary*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1970, 10 s. DT 621.974.2.074.
8. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápustkové: Přídatky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986, 22 s. MDT 621.73.043.
9. ČSN 22 8306. *Zápustky pro svislé kovací lis*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1990, 39 s. MDT 669.35-4.
10. Dělička tyčového materiálu za studena: Katalog obráběcích a tvářecích strojů. In: *Ústav strojírenské technologie* [online]. Brno: Ústav strojírenské technologie VUT [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/stns63_1.html>.
11. DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. 1. Vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1972, 192 s. ISBN 04-227-72.
12. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 1. Vyd. Brno: CERM, 2001, 238 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2032-4.
13. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: návody do cvičení*. 1. Vyd. Brno: PC-DIR Real, 2000, 103 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1723-4.
14. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
15. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. 1. Vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992, 524 s. Technický průvodce. ISBN 80-030-0651-1.

-
16. FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text : studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství*. 1. Vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 333 s. ISBN 978-80-248-2572-4.
 17. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. Vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
 18. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. 43 s. [cit. 2017-04-14]. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf>.
 19. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1965, 730 s. ISBN 04-223-65.
 20. JAN, Vít. *Mechanické vlastnosti II*. Prezentace prezentována: [FSI VUT v Brně, Ústav materiálových věd a inženýrství; 2014, Brno, Česká republika], [cit. 14.04.2017].
 21. KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje I*. 3. Vyd. Brno: Ediční středisko VUT, 1989. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1037-X.
 22. Kompaktní středofrekvenční ohříváč KSO 400/3-C30, výkonové řady 400 kW. *Roboterm.cz* [online]. Chotěboř: Pavlicek.cz, 2012 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <<http://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/kso-do-630-kw/kompaktni-stredofrekvencni-ohrivac-kso-400/3-c30>>.
 23. Konstrukční ocel ČSN 12 050. *Nástrojové a speciální oceli - JZK* [online]. Bučovice: JZK Bučovice, 2014 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <<http://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-12-050-11191-c45/>>.
 24. LIDMILA, Zdeněk. *Objemové tváření za tepla*. Prezentace prezentována: [FSI VUT, Ústav strojírenské technologie; 2016, Brno, Česká republika], [cit. 14.04.2017].
 25. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. Vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
 26. ODSTRČILÍK, Pavel. *Technologie gravitačního lití do pískových forem* [online]. Zlín, 2010, 52 s. [cit. 2017-04-14] Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Ondřej Bílek, Ph.D. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/13018/odstrc%C4%8Di%C3%ADk_2010_bp.pdf?sequence=1>.
 27. Ostřihovací lisy. *Šmeral Brno a.s.* [online]. Brno: web147, 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/ostrihovaci_lisy.html>.
 28. Přehled vlastností oceli i45. In: *Bolzano.cz* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, 2017 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_C45.pdf>.
 29. Rotační výkovky. In: *STAKO Červený Kostelec s.r.o. - kovárna* [online]. Červený Kostelec: Stako - Červený kostelec, 2014 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <<http://www.stako-ck.cz/kovarna/vyroby.html>>.
 30. STANĚK, Vojtěch. *Perspektivy objemového tváření za tepla* [online]. Brno, 2010, 29 s. [cit. 2017-04-14]. Bakalářská práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Kamil Podaný.
-

31. STRÁNSKÝ, Lubomír. *Konstrukční oceli - prezentace*. 30 s.
32. Strojní součásti, ozubená kola, volba materiálu, strojnické tabulky. *Strojnické tabulky online: Lexikon kovů - značení ocelí a norem* [online]. Praha: Dashöfer Holding, Ltd. a Verlag Dashöfer, 2014 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <<http://www.strojnicketabulkyonline.cz/strojni-soucasti/volba-materialu-ozubenych-kol/>>.
33. SVARINFO: Vybrané oceli - vlastnosti a použití. *SVARWEB* [online]. SVARWEB, 2005 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=oceli_pouziti>.
34. Svislé kovací lisy. *Šmeral Brno a.s. Výrobce tvářecích strojů* [online]. Brno: web147, 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/svisle_kovaci_lisy.html>.
35. ŠPAČEK Antonín, *Výroba držáku objemovým tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008. 64 s, 5 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Miloslav Kopřiva.
36. Technologie objemového tváření - kování. LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů - skripta* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm>.
37. Technologie tváření kovů. LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů - skripta* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm> .
38. Tyče kruhové, válcované za tepla: Výběr z ČSN 42 5510. *Frippersy Soft* © [online]. Praha: Frippersy Soft ©, 2001 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <<http://frippersy.sweb.cz/tabulky/pages/pol1.htm>>.
39. VESELÝ, Milan: *Zápusťkové kování ozubeného kola*. Brno, 2010. 57 s. [cit. 2017-04-14]. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.
40. Výroba výkovků. In: *SWR Jihlava spol. s.r.o.* [online]. Jihlava: SWR Jihlava spol., 2008 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <<http://www.swrjihlava.cz/index.php?page=vyroba>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A _i	Velikost dílčí plochy pod křivkou napětí	[MPa · mm]
a	Velikost jehly	[mm]
B	Šířka výkovku	[mm]
b	Šířka můstku	[mm]
b _n	Šířka části průřezu pro výpočet kovací síly	[mm]
b ₁	Šířka můstku pro výpočet kovací síly	[mm]
C _m	Cena 1 kg oceli 12 050.0	[Kč]
C _o	Součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot z tabulky dle ČSN 22 8306	[-]
C _v	Výkupní cena ocelového odpadu	[Kč/kg]
C _{vo}	Výkupní cena třískového odpadu	[Kč/kg]
D _c	Průměr výkovku s můstkem	[mm]
D _i	Průměr jednotlivé části, ohraničené boční plochou v pohybujícím se díle zápustky	[mm]
D _k	Velikost průměru hlavy (paty) kolíkového vyhazovače	[mm]
D _{rk}	Dílenská režie pro zápustkové kování	[Kč]
D _{ro}	Dílenská režie pro třískové obrábění	[Kč]
D _v	Průměr výkovku	[mm]
D ₀	Průměr polotovaru	[mm]
D _{0max}	Maximální průměr polotovaru	[mm]
D _{0p}	Předběžný průměr polotovaru	[mm]
D _{0sml}	Maximální průměr polotovaru o R _m = 440 MPa	[mm]
d	Největší průměr dutiny výkovku	[mm]
d _k	Velikost průměru otvoru pro vyhazovací kolík	[mm]
d _k '	Velikost průměru vyhazovacího kolíku	[mm]
F _D	Velikost střížné síly	[N]
F _k	Velikost kovací síly	[N]
F _{kB}	Velikost kovací síly dle Brjuchanova – Rebelského	[N]
F _{kS}	Velikost kovací síly dle Storoževa	[N]
F _n	Velikost síly vznikající od normálových složek napětí	[N]
F _{OB}	Velikost síly k odstranění blány	[N]
F _{OC}	Celková velikost ostříhovací síly	[N]
F _{OV}	Velikost síly k ostřížení výronku	[N]
F _t	Velikost síly vznikající od tangenciálních složek napětí	[N]
F _T	Velikost kovací síly dle Tomlenova	[N]
f	Šířka části výkovku	[mm]
G	Modul pružnosti ve smyku	[MPa]
g	Velikost otřepu, sestřížení	[mm]
H _D	Výška dutiny spodní zápustky	[mm]
h	Výška můstku	[mm]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

h_B	Tloušťka blány	[mm]
h_d	Hloubka dutiny výkovku	[mm]
h_n	Výška části průřezu pro výpočet kovací síly	[mm]
h_1	Výška můstku pro výpočet kovací síly	[mm]
k_p	Základní přetvárný odpor	[MPa]
L_0	Délka polotovaru	[mm]
L_{0p}	Předběžná délka polotovaru	[mm]
l_0	Délka výkovku při okolní teplotě	[mm]
M_{cv}	Celkové mzdy	[Kč]
M_{ccv}	Celkové mzdy obou metod	[Kč]
M_{v1}	Mzdy na 1 kus	[Kč/ks]
m_c	Hmotnost konečného výrobku	[kg]
m_{cok}	Hmotnost celkového odpadu po kování	[kg]
m_{coo}	Hmotnost celkového třískového odpadu	[kg]
m_{ok1}	Hmotnost odpadu z 1 kusu po kování	[kg]
m_{oo1}	Hmotnost odpadu z 1 kusu polotovaru po obrábění	[kg]
m_p	Hmotnost polotovaru	[kg]
m_{pk}	Hmotnost polotovaru pro kování	[kg]
m_{po}	Hmotnost polotovaru pro obrábění	[kg]
m_v	Hodinová mzda výrobního dělníka	[Kč/hod]
m_0	Hmotnost výkovku	[kg]
N_m	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N_{m1}	Náklady na 1 kus výrobku	[Kč/ks]
N_{ok}	Cena vratného odpadu po kování	[Kč]
N_{oo}	Cena vratného třískového odpadu	[Kč]
n	Výška zásobníku	[mm]
n_o	Součinitel otupení	[-]
O_B	Obvod výkovku v místě blány	[mm]
O_V	Obvod výkovku v dělicí rovině bez výronku	[mm]
P_r	Podniková reže	[Kč]
p	Velikost přesahu	[mm]
R_d	Počet vyráběných kusů	[ks/rok]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{mT}	Pevnost ocelí za kovací teploty z Tab. 4.2 dle ČSN 22 8306	[MPa]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
r	Zaoblení poloměrů a přechodů	[mm]
S_c	Průměr plochy výkovku s můstkem do dělicí roviny	[cm ²]
S_V	Průmět plochy výkovku do roviny	[cm ²]
$S_{výr}$	Průměr plochy výronku v šířce můstku do dělicí roviny	[mm]
S_0	Plocha průřezu polotovaru ve střižné rovině	[mm ²]
s	Tloušťka kovací blány	[mm]
t_{kk}	Výrobní čas jedné součásti kováním	[min]
t_{kko}	Výrobní čas jedné součásti následným obráběním	[min]
t_{ko}	Výrobní čas jedné součásti obráběním	[min]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

t_0	Teplota stání	[°C]
t_1	Dokovací teplota	[°C]
V_{BL}	Objem blány	[mm ³]
V_C	Celkový objem výkovku	[mm ³]
V_n	Objem tělesa vzniklého rotací plochy ohraničené křivkou napětí a osou x kolem výkovku	[mm ³]
V_p	Objem přídatku na propal	[mm ³]
V_v	Objem výkovku bez výronku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm ³]
V_0	Objem polotovaru	[mm ³]
V_1	Objem jedné části výkovku	[mm ³]
V_2	Objem druhé části výkovku	[mm ³]
x_i	Vzdálenost těžiště plochy A_i od osy výkovku	[mm]
Δ	velikost vůle ve vedení	[mm]
Δh_i	výška dílčí boční plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápustky	[mm]
Δl	velikost přídatku na smrštění	[mm]
$\Delta S'_i$	povrch dílčích bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky	[mm ²]
α	koeficient tepelné roztažnosti	[-]
λ	štíhlostní poměr	[-]
μ	koeficient tření	[-]
ρ	měrná hmotnost materiálu	[kg · m ⁻³]
σ_p	přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_s	základní přetvárný odpor, změněný o koeficient snížení plasticity	[MPa]
σ_0	napětí v průřezu výkovku	[MPa]
σ_1	napětí v průřezu výkovku	[MPa]
σ_2	napětí v průřezu výkovku	[MPa]
τ_{kr}	kritické smykové napětí	[MPa]
τ_s	napětí ve smyku	[MPa]
ψ	veličina vyjadřující vliv tření na vzrůst napětí	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Příklady užití technologie zápustkového kování	7
Obr. 2.1:	Zadaná součást	11
Obr. 2.2:	Tečení kovu při kování na bucharu (vlevo) a na lisu (vpravo)	12
Obr. 2.3:	Zušlechťovací diagram oceli ČSN 12 050	13
Obr. 3.1:	Tahový diagram se smluvní mezí kluzu	14
Obr. 3.2:	Přemístění atomů při překročení meze kluzu.....	14
Obr. 3.3:	Skluzový systém u vybraných krystalových mřížek.....	15
Obr. 3.4:	Skluz a dvojčatění	15
Obr. 3.5:	Schéma styku dvou zrn	15
Obr. 3.6:	Průběh napětí v závislosti na prodloužení pro polykrystal a monokrystal	15
Obr. 3.7:	Průběh mechanických hodnot v závislosti na teplotě	16
Obr. 3.8:	Průběh vláken u obráběného a tvářeného materiálu	17
Obr. 3.9:	Deformovaná struktura tvářeného materiálu za studena.....	17
Obr. 3.10:	Rekrystalizační diagram.....	18
Obr. 3.11:	Dělení kování dle teplot	18
Obr. 3.12:	Tvářecí teploty oceli	18
Obr. 3.13:	Způsoby pěchování	19
Obr. 3.14:	Děrování.....	19
Obr. 3.15:	Druhy prodlužovacích kovadel	20
Obr. 3.16:	Způsoby osazování, prosazování a přesazování	20
Obr. 3.17:	Ohýbání.....	20
Obr. 3.18:	Schéma zápustek.....	21
Obr. 3.19:	Umístění dělicí roviny.....	21
Obr. 3.20:	Nejmenší tloušťka dna a blány u jednotlivých výkovků.....	23
Obr. 3.21:	Tvar a rozměry kovací blány	23
Obr. 3.22:	Úchyly tvaru výkovku.....	24
Obr. 3.23:	Průhyb	25
Obr. 3.24:	Umístění předkovacích dutin	27
Obr. 3.25:	Předkovací dutiny pro lisy	28
Obr. 3.26:	Tvary výronkových drážek u svislých kovacích lisů.....	28
Obr. 3.27:	Upínání zápustek na buchar	29
Obr. 3.28:	Upínání zápustek na svislých kovacích lisech	30
Obr. 3.29:	Děrování.....	32
Obr. 3.30:	Způsoby ostřihování.....	32
Obr. 3.31:	Tepelné zpracování	33
Obr. 4.1:	Zaoblení hran a přechodů.....	34
Obr. 4.2:	Úchyly tvaru výkovku.....	35
Obr. 4.3:	Model výkovku	36
Obr. 4.4:	Nomogram pro stanovení výšky můstku	36
Obr. 4.5:	Výronková drážka	36
Obr. 4.6:	Výpočet objemu výkovku	37
Obr. 4.7:	Model výkovku	38
Obr. 4.8:	Model části výronku	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Chemické složení oceli ČSN 12 050	13
Tab. 2.2: Tepelné zpracování oceli ČSN 12 050	13
Tab. 3.1: Krystalové mřížky v materiálu v závislosti na teplotě	16
Tab. 3.2: Přehled použití lámání, stříhání a řezání	26
Tab. 4.1: Základní přetvárný odpor za dané kovací teploty	41
Tab. 4.2: Pevnost R_{mT} [MPa] oceli 12 050 za kovacích teplot	42
Tab. 4.3: Dílčí plochy pod křivkou napětí	44
Tab. 4.4: Shrnutí výsledků výpočtů kovacích sil dle jednotlivých metod.....	45
Tab. 4.5: Mechanické vlastnosti oceli 12 050 ve stavu normalizačně žíhaném	47
Tab. 5.1: Porovnání technicko - ekonomických ukazatelů	51
Tab. 5.2: Porovnání nákladů v Kč	51

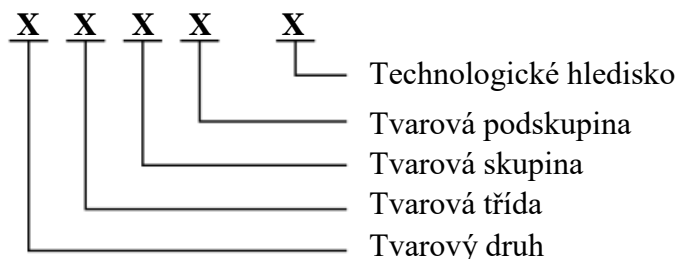
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Zařazení výkovků dle tvarové složitosti
Příloha 2	Nástrojové oceli pro zápustky
Příloha 3	Stanovení stupně přesnosti a přídavku na obrábění pro zápustkové výkovky
Příloha 4	Mezní úchytky a tolerance rozměrů zápustkových výkovků
Příloha 5	Technologické přídavky zápustkových výkovků
Příloha 6	Strojní nůžky na polotovary TNS 63
Příloha 7	Ohřívací zařízení KSO 400/3-C30
Příloha 8	Technické parametry svislého kovacího lisu
Příloha 9	Technické parametry ostřihovacího lisu LKOA 200
Příloha 10	Nomogram pro určení kovací síly
Příloha 11	Grafické znázornění ploch pod křivkami napětí
Příloha 12	Základní řada kolíkových vyhazovačů
Příloha 13	Mezní úchytky a opracování zápustek pro svislé kovací lisy
Příloha 14	Postupové schéma
Příloha 15	Technologický postup

SEZNAM VÝKRESŮ

OZUBENÉ KOLO	A3 – BP – 2017 – 001
OZUBENÉ KOLO (VÝKOVEK)	A3 – BP – 2017 – 002
OZUBENÉ KOLO (TEPLÝ VÝKOVEK)	A4 – BP – 2017 – 003
PŘEDKOVACÍ ZÁPUSTKA	A2 – BP – 2017 – 004
DOKONČOVACÍ ZÁPUSTKA	A2 – BP – 2017 – 005
KOLÍKOVÝ VYHAZOVAČ	A4 – BP – 2017 – 006
SESTAVA KOVACÍ ZÁPUSTKY	A2 – BP – 2017 – 007

Příloha 1: Zařazení výkovků dle tvarové složitosti [6]



Obr 1: Číselné označení výkovku dle tvarové složitosti dle ČSN 42 9002 6

Tvarový druh – první číslice v číselném označení výkovku (**X** x x x – x)

- 4 výkovky kruhového průřezu – plné
- 5 výkovky kruhového průřezu – duté
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 výkovky s ohnutou osou
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí rovinou
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou

Tvarová třída – druhá číslice v číselném označení výkovku (x **X** x x – x)

Pro výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7 a 8:

- 1 konstantní průřez
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 jednostranně osazené
- 4 oboustranně osazené
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 6 prosazené
- 7 kombinované
- 8 kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 9 členité (u tvarového druhu 8 – výkovky háku)
- 0 neobsazeno

Pro výkovky tvarového druhu 9 a 0:

- 1 převážně kruhový průřez
- 2 převážně plochý průřez
- 3 s hlavou a jedním ramenem
- 4 s hlavou a více rameny
- 5 jednostranně rozvidlené
- 6 oboustranně rozvidlené
- 7 zalomené
- 8 šroubovité (stoupání < 1) – pouze u tvarového druhu 0
- 9 šroubovité (stoupání > 1) – pouze u tvarového druhu 0

Tvarová skupina – třetí číslice v číselném označení výkovku (x x **X** x – x)

Výkovky zařazené do tvarových tříd jsou děleny dále dle štíhlostních a jiných tvarových poměrů.

Výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy (druh 4, 6 a 7; technologické hledisko 1 a 2):

- 1 výkovky bez otvoru $L \leq 3B$; $H \leq 2H_1$
- 2 výkovky bez otvoru $L \leq 3B$; $H > 2H_1$
- 3 výkovky bez otvoru $L > 3B$; $H \leq 2H_1$
- 4 výkovky bez otvoru $L > 3B$; $H > 2H_1$
- 5 výkovky s otvorem $L \leq 3B$; $H \leq 2H_1$
- 6 výkovky s otvorem $L \leq 3B$; $H > 2H_1$
- 7 výkovky s otvorem $L > 3B$; $H \leq 2H_1$
- 8 výkovky s otvorem $L > 3B$; $H > 2H_1$

Výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu (technologické hledisko 3, 4, 5) a výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech (technologické hledisko 6, 7, 8):

- 1 výkovky plné $H \leq B$ (D); $H \leq 2H_1$
- 2 ... výkovky plné $H \leq B$ (D); $H > 2H_1$
- 3 ... výkovky plné $H > B$ (D); $B \leq 2B_1$
- 4 ... výkovky plné $H > B$ (D); $B > 2B_1$
- 5 ... výkovky duté $H \leq B$ (D); $H \leq 2H_1$
- 6 ... výkovky duté $H \leq B$ (D); $H > 2H_1$
- 7 ... výkovky duté $H > B$ (D); $B(D) \leq 2B_1$
- 8 ... výkovky duté $H > B$ (D); $B(D) > 2B_1$

Kde: H [mm] – největší výška výkovku ve směru rázu

B [mm] – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu

H_1 [mm] – nejmenší tloušťka blány nebo, dna výkovku, nebo výška ve směru rázu

B_1 [mm] – nejmenší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu

L [mm] – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu

Tvarová podskupina – čtvrtá číslice v číselném označení výkovku ($x \times x \times \mathbf{X} - x$)

Výkovky přesahující stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin:

- 1 přesah v poměru $L : B$ (D) nebo $H : B$ (D)
- 2 přesah v poměru $H : H_1$ (D : D_1)
- 3 přesah v poměru $B : B_1$
- 4 přesah v poměru $F : F_1$
- 5 přesah v hloubce dutiny $h : d$ nebo úhlu listů lopatek β
- 6 přesah v tloušťce dna nebo blány H_1
- 7 přesah v tloušťce stěny s nebo velikosti rozvidlení $l : b$
- 8 přesah v zaoblení přechodů a hran R, r
- 9 kombinace několika přesahů

Výkovky nepřesahující stanovený maximální poměr dvou na sobě závislých veličin:

- 0 ... bez přesahu

Kde: D [mm] – největší průměr výkovku

D_1 [mm] – nejmenší průměr výkovku, průměr výchozího materiálu u výkovků zhotovených na vodorovném kovací lisu

F [mm] – největší plocha průřezu výkovku ($B \cdot H$)

F_1 [mm] – nejmenší plocha průřezu výkovku ($B_1 \cdot H_1$)

h [mm] – největší hloubka dutiny výkovku

d [mm] – největší průměr dutiny výkovku

l [mm] – největší délka rozvidlení

b [mm] – největší šířka rozvidlení

R [mm] – poloměr zaoblení přechodů

r [mm] – poloměr zaoblení hran

Technologické hledisko – pátá číslice v číselném označení výkovku ($x \times x \times x - \mathbf{X}$)

- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy, souměrné
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy, nesouměrné
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu, souměrné
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu, nesouměrné
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu, s ozubením
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech, souměrné
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech, nesouměrné
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech, s ozubením
- 9 výkovky s více dělicími plochami
- 0 neobsazeno

Příloha 2: Nástrojové oceli pro zápustky [9]

Tab. 6.1: Oceli pro zápustky [9]

Značka oceli dle ČSN (dle ČSN EN)	Použití oceli se zřetelem k:			
	Velikosti zápustky	Namáhání zápustky	Druhu kovacího stroje	Materiálu výkovku
19 552 (X38CrMoV5-1)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané nástroje	buchary, vřetenové a kovací lisy	nelegované, nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 642 (35NiCrMo16)	malé, střední a velké zápustky	středně tepelně namáhané, s velkou houževnatostí	hlavně buchary, ale i vřetenové a kovací lisy	nelegované, nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 662 (54NiCrMoV6)	střední a velké zápustky	středně tepelně namáhané, s velkou houževnatostí	hlavně buchary	nelegované, nízkolegované oceli
19 663 (56NiCrMoV7)	malé, střední a velké zápustky	středně tepelně namáhané, s velkou houževnatostí	buchary, vřetenové a kovací lisy	nelegované, nízkolegované oceli
19 720 (X30WCrV5-3)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dostatečně houževnaté	všechny druhy lisů a buchary	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 721 (X30WCrV9-3)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dostatečně houževnaté	všechny druhy lisů	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 740 (X30WCrV4-1)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dostatečně houževnaté	všechny druhy lisů	nelegované, nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů

Příloha 3: Mezní úchytky a opracování zápustek pro svislé kovací lisy [9]

Tab. 6.2: Mezní úchytky zápustek pro svislé kovací lisy [9]

Jmenovitý rozměr		Mezní úchytky	
Přes	Do	⊥	∥
0	25	0,06	0,07
25	40	0,07	0,1
40	63	0,08	0,12
63	100	0,1	0,15
100	160	0,12	0,2
160	250	0,15	0,25
250	400	0,2	0,3
400	630	0,3	0,45
630	1000	0,4	0,6
Použité značky: ⊥ – kolmo k rázu ∥ – ve směru k rázu			

Tab. 6.3: Opracování ploch zápustek pro svislé kovací lisy [9]

	Opracování R_a [μm]
Dutina předkovací	1,6 – 3,2 *)
Dutina dokovací	0,8 – 3,2 *)
Můstek	0,8 – 3,2 *)
Dosedací plochy	3,2
Upínací plochy	3,2
Zásobník	12,5 – ~
Ostatní vnější plochy	12,5 – ~
Vedení zápustek	1,6
Otvory pro dopravní kolíky	12,5
Otvory pro vyhazovače	1,6
*) Z technologických a ekonomických důvodů se doporučuje části dutiny na kterých nastává intenzivní tečení materiálu, leštit	

Tab. 6.4: Hodnoty smrštění u jednotlivých materiálů [9]

Materiál	Smrštění v %	Materiál	Smrštění v %
Běžné oceli	1,0 – 1,3	Mosaz	1,0 – 1,7
Ložiskové oceli	1,5	Slitiny Al	0,6 – 1,0
Austenitické oceli	1,5 – 2,0	Al bronz	1,0 – 1,3

Příloha 4: Stanovení stupně přesnosti a přídatku na obrábění pro zápusťkové výkovky [8]

Tab. 6.5: Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení (ČSN 42 9030) [8]

Rozdělení podle ČSN 42 9030					Stupeň přesnosti IT pro provedení					
Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskup.	Technol. hledisko	obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4;6;7	1 až 9	1;5	0 až 9	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2;3;6;7			5	6	4	5	3	4
		4;8			6	7	5	6	4	5
4;5;6;7	1 až 5;9	1;5	0 až 9	3;4;5	5	5	4	4	3	3
		2;3;4			5	6	4	5	3	4
		6;7;8			6	7	5	6	4	5
4;5;6;7	1 až 5;9	1 až 8	0 až 9	6;7;8;9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1;2;3;4	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
		5;6			7	7	6	6	5	5
8	9	1;2	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
		3;4;5;6;7			7	7	6	6	5	5
9;0	1 až 9	1;2;3;4	0 až 9	1 až 9	6	6	5	5	4	4
		5;6;7;8			7	7	6	5	5	5

Legenda: ⊥ – kolmo k rázu; ∥ – ve směru rázu

Tab. 6.6: Přídatky na obrábění ploch pro obvyklé provedení [8]

Největší průměr výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		Přes	25	40	63	100	160	250	400
		Do 25	40	63	100	160	250	400	630
Přes	Do	Přídatky na obrábění ploch [mm]							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Příloha 5: Technologické přídatky zápusťkových výkovků [8]

Tab. 6.7: Zaoblení hran a přechodů [8]

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$\frac{h}{f}$ do 2		$\frac{h}{f}$ přes 2 do 4		$\frac{h}{f}$ přes 4	
Přes	Do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120	65	150

Tab. 6.8: Nejmenší tloušťka dna, blány a stěny výkovku [8]

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu D		Největší výška výkovku H							
		Přes	10	25	40	63	100	160	250
		Do 10	25	40	63	100	160	250	400
Přes	Do	Nejmenší tloušťka dna H_1 a stěny s							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60

Tab. 6.9: Velikost úkosů [8]

	Vnější	Vnitřní
Zápusťkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosal	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosal:		
Pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
Lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
Vodorovné kovací stroje	0 až 5°	0 až 5°

Příloha 6: Mezní úchylky a tolerance rozměrů zápusťkových výkovků [8]

Tab. 6.10: Mezní úchylky a tolerance rozměrů pro stupeň přesnosti IT5 [8]

Největší průměr výkovku D ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku kolmo ke směru rázu H							
		Přes	25	40	63	100	160	250	400
		Do 25	40	63	100	160	250	400	630
Přes Do 25	Mezní Úchylky	+0,6 -0,3	+0,6 -0,4	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+1,0 -0,4			
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4			
Přes 25 Do 40	Mezní Úchylky	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6		
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8		
Přes 40 Do 63	Mezní Úchylky	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6		
	Tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0		
Přes 63 Do 100	Mezní Úchylky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	
Přes 100 Do 160	Mezní Úchylky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	
Přes 160 Do 250	Mezní Úchylky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,5 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0	+2,3 -1,2
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,5
Přes 250 Do 400	Mezní Úchylky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,8 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,0	+2,3 -1,1	+2,6 -1,3
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9
Přes 400 Do 630	Mezní Úchylky	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,6 -1,3	+3,0 -1,4
	Tolerance	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,4
Přes 630 Do 1000	Mezní Úchylky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,7 -1,4	+2,9 -1,4	+3,0 -1,5	+3,2 -1,6	+3,5 -1,8
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,3

Tab. 6.11: Mezní úchytky tolerance rozměrů pro stupeň přesnosti IT6 [8]

Největší průměr výkovku D ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu H							
		Přes	25	40	63	100	160	250	400
		Do 25	40	63	100	160	250	400	630
Přes Do 25	Mezní Úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7			
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1			
Přes 25 Do 40	Mezní Úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,7	+1,8 -0,8		
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6		
Přes 40 Do 63	Mezní Úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -1,0		
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9		
Přes 63 Do 100	Mezní Úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,5 -1,2	
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	
Přes 100 Do 160	Mezní Úchytky	+1,9 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,5 -1,2	+2,7 -1,4	
	Tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1	
Přes 160 Do 250	Mezní Úchytky	+2,1 -1,1	+2,2 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,4	+3,0 -1,5	+3,4 -1,7
	Tolerance	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	4,1	4,5	5,1
Přes 250 Do 400	Mezní Úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,8 -1,4	+2,9 -1,5	+3,1 -1,6	+3,4 -1,7	+3,8 -1,9
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1	5,7
Přes 400 Do 630	Mezní Úchytky	+3,1 -1,5	+3,1 -1,6	+3,2 -1,6	+3,3 -1,7	+3,5 -1,7	+3,7 -1,8	+3,9 -2,0	+4,3 -2,2
	Tolerance	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5	5,9	6,5
Přes 630 Do 1000	Mezní Úchytky	+4,1 -2,1	+4,2 -2,1	+4,2 -2,2	+4,4 -2,2	+4,5 -2,3	+4,7 -2,4	+5,0 -2,5	+5,4 -2,7
	Tolerance	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,1	7,5	8,1

Tab. 6.12: Mezní úchytky zaoblení přechodů a hran [8]

Poloměry zaoblení		Mezní úchytky			
Přes	Do				
	10	+ 0,50 - 0,25	· R	+ 0,25 - 0,50	· r
10	32	+ 0,40 - 0,20		+ 0,20 - 0,40	
32	100	+ 0,30 - 0,15		+ 0,15 - 0,30	
100		+ 0,25 - 0,10		+ 0,10 - 0,25	

Příloha 7: Strojní nůžky na polotovary TNS 63 [10]

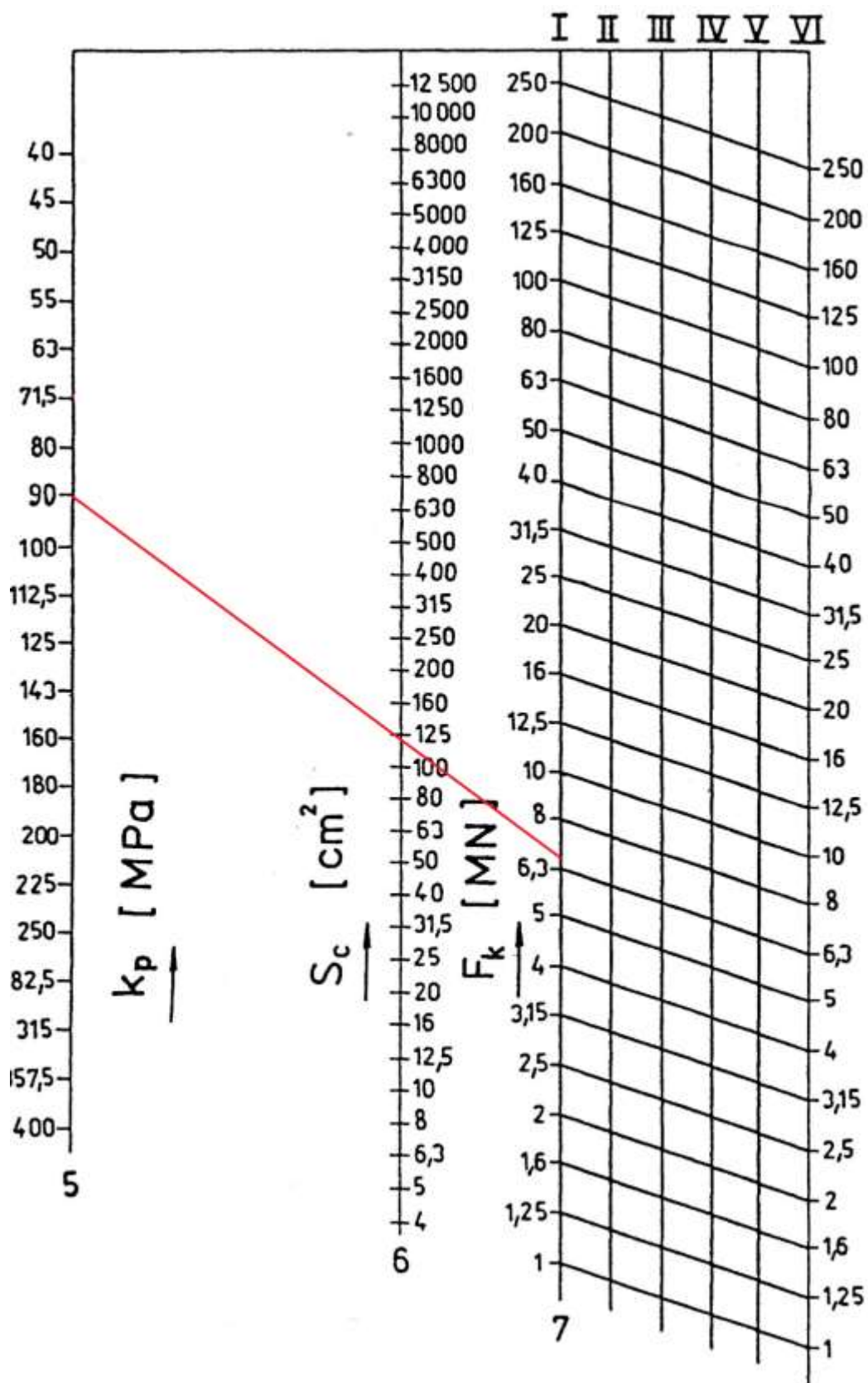
Tab. 6.13 Technické parametry stroje TNS 63 [10]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Jmenovitá síla	N	$2,5 \cdot 10^6$
Max. průměr tyče při 450 MPa	mm	83
Max. průměr tyče při 650 MPa	mm	68
Max. průměr tyče při 850 MPa	mm	59
Minimální průměr tyče	mm	35
Rozsah stříhaných délek	mm	0,8d-500
Maximální délka tyčí	mm	6000
Maximální hmotnost svazku	kg	5000
Délka stroje	mm	8385
Šířka stroje	mm	3085
Výška stroje	mm	2600
Hmotnost stroje se zásobníkem	kg	10500



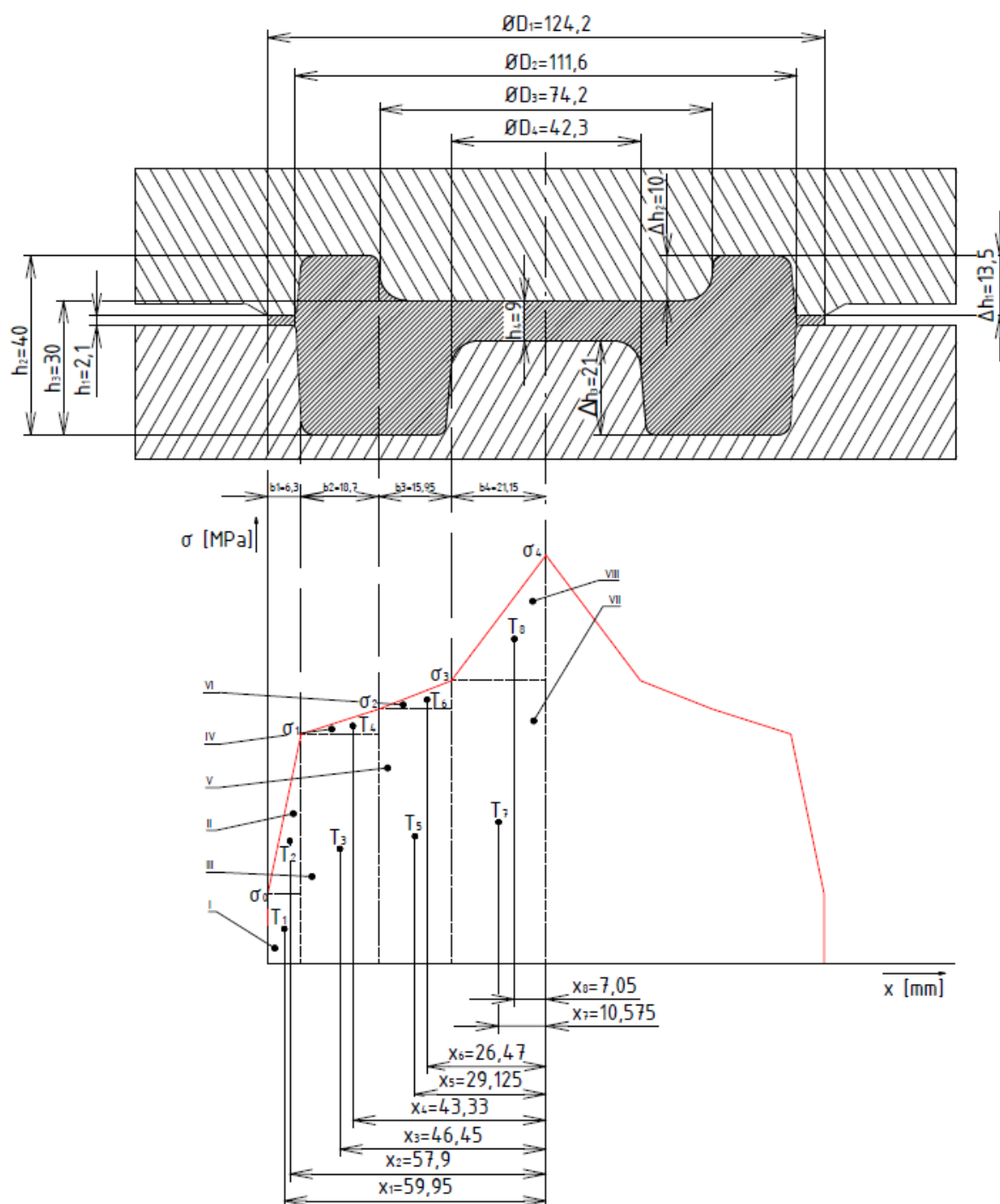
Obr 2: Strojní nůžky TNS 63 [10]

Příloha 8: Nomogram pro určení kovací síly [9]



Obr 3: Nomogram určení kovací síly [9]

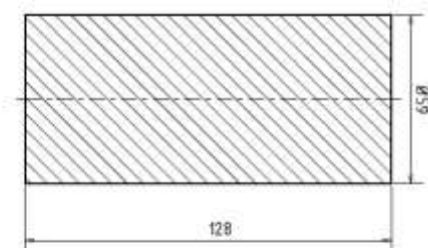
Příloha 9: Grafické znázornění ploch pod křivkami napětí



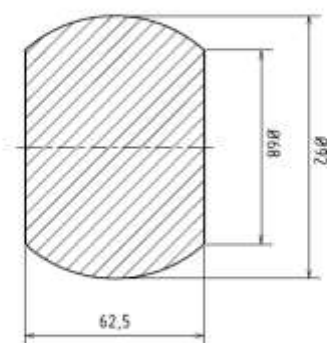
Obr 4: Grafické znázornění ploch pod křivkami napětí

Příloha 10: Postupové schéma

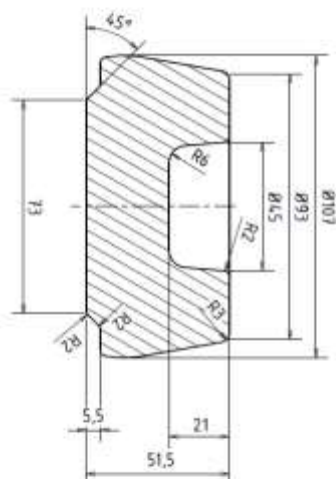
1) Východí polotovar



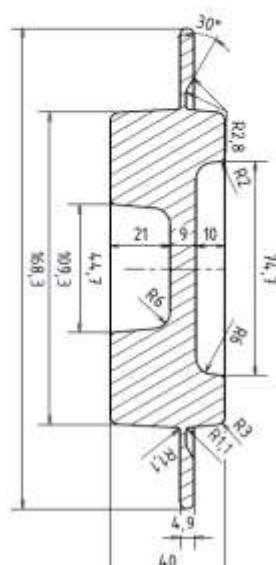
1) Pěchování



3) Předkovací operace



4) Dokovací operace



Obr 5: Postupové schéma zápusťkového kování

Příloha 11: Technologický postup

Tab. 6.14: Technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP			
Název výkovku: OZUBENÉ KOLO – VÝKOVEK		Číslo výkresu výkovku: A3–BP–2017–002	Číslo výkresu součásti: A3–BP–2017–001
Číslo operace:	Název operace:		
1.	Dělení materiálu – stříhání		
	Jakost materiálu: 12 050.0	Profil materiálu: Ø 60 mm	ČSN materiálu 42 5510
	Stroj: Strojní nůžky na polotovary TNS 63	Délka: 132 +1 mm	Hmotnost přířezu: 2,93 kg
2.	Kontrola přířezu:		
	Způsob kontroly: Kontrola hmotnosti a jakosti přířezu s četností 10 %		
3.	Kování v kovací lince:		
	1	Indukční ohřev:	
		Stroj: KSO 400/3-C30	Teplota: 1200 °C ± 20 °C
	2	Kování:	
		Stroj: LZK 1600 P	Kovací teplota: 1200 °C ± 20 °C
		Kovací síla: 6,88 MN	
		1. operace: pěchování	
		2. operace: předkování	
	3. operace: dokování		
	3	Ostřih:	
Stroj: LKO A 200		Hmotnost výkovku: 2,93 kg	
Střižná síla: 1 MN			
4.	Tepelné zpracování:		
	Druh: Normalizační žíhání na 580 MPa	Agregát: Elektrická komorová pec	
5.	Kontrola tvrdosti:		
	Požadovaná tvrdost: 55 ÷ 60 HRC		
6.	Otryskání:		
	Stroj: Tryskací zařízení PTB 3		

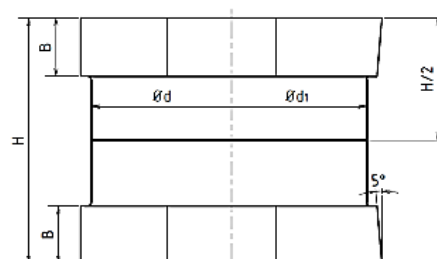
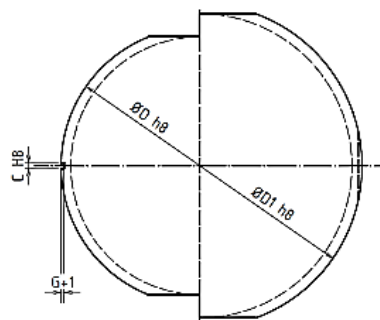
Příloha 12: Technické parametry svislého kovacího lisu [34]

Tab. 6.15: Technické parametry kovacího lisu LZK 1600 P [34]

Linka	Tvářecí síla		MN	16,0
	Sevření		mm	760
	Průchod		mm	1230
	Upínací plocha stolu		mm	1180 x 1120
	Upínací plocha beranu		mm	1138 x 920
	Hydraulické přestavení beranu		mm	10
	Zdvih/počet zdvihů		mm/min ⁻¹	280/85
	Celkový instalovaný výkon		kW	85,0
	Rozměry stroje v*š*h		m	5,5 x 2,9 x 3
	Ø polotovaru		mm	20 až 50
	Předkovací stroj			UL 35
	Ostřihovací stroj			LE 250
	Označení			QLZK 1600
Upínač	Dokovací zápustka	D ₁	mm	275
		d ₁	mm	250
	Předkovací zápustka	D	mm	245
		d	mm	220
	H		mm	250
	B		mm	60
	C		mm	16
	G		mm	9



Obr 6: Svislý kovací lis LZK 1600 P [34]

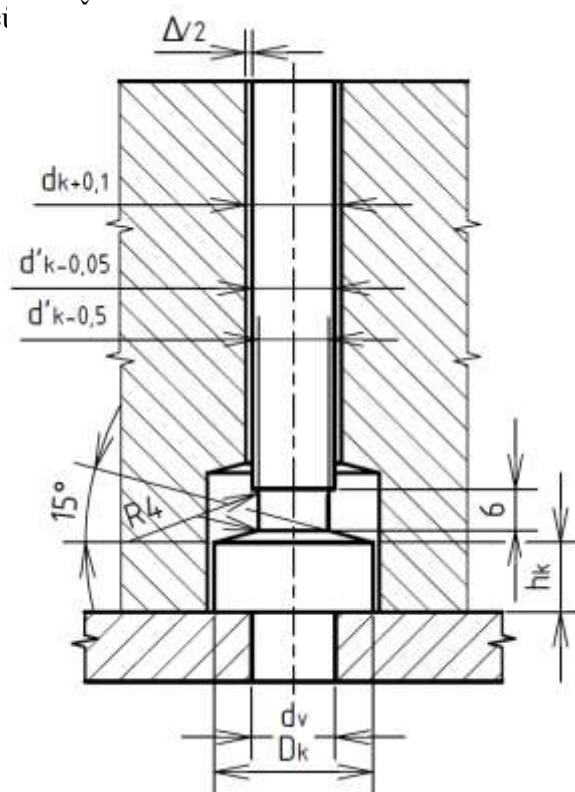


Obr 7: Základní jmenovité rozměry zápustek a držáků [34]

Příloha 13: Základní řada kolíkových vyhazovačů [9]

Tab. 6.16: Základní řada kolíkových vyhazovačů

Jmenovitý průměr d_k	Vůle ve vedení Δ	h_k
12	0,2	10
14		
16		
18		
20		
22	0,3	15
25		
28		
32		
36		
40		
45	0,4	20
50		
56		
63		
70		
80		



Obr 8: Kolíkový vyhazovač [9]

Tab. 6.17: Opracování ploch vyhazovače [9]

	Opracování R_a [μm]
Vodící plocha	0,8 – 1,6
Činná část	0,8 – 1,6
Dosedací plocha	1,6 – 3,2
Ostatní	12,5

Příloha 14: Ohřívací zařízení KSO 400/3-C30 [22]

Tab. 6.18: Základní technické parametry KSO 400/3-C30 [22]

Ohříváný materiál		magnetická ocel
Průměr přířezu	mm	35 – 80
Délka přířezu	mm	1,4 D – 300
Maximální ohřáté množství	kg/h	1000
Výstupní teplota přířezů	°C	max. 1250
Jmenovité vstupní hodnoty (silové obvody)		
Příkon	kVA	480
Vstupní napětí z oddělovacího transformátoru	V	3 x 400
Frekvence	Hz	50
Jmenovité vstupní hodnoty (pomocné obvody)		
Příkon	kVA	25
Vstupní napětí	V	3 x 400
Frekvence	Hz	50
Jmenovité vstupní hodnoty silových obvodů		
Výkon	kW	400
Frekvence	Hz	1 – 3
Výstupní napětí	V	600



Obr 9: Středofrekvenční ohříváč KSO 400/3-C30 [22]

Příloha 15: Technické parametry ostříhovacího lisu LKOA 200 [27]

Tab. 6.19: Technické parametry ostříhovacího lisu LKOA 200 [27]

Tvářecí síla	kN	2000
Sevření	mm	585
Průchod	mm	1420
Upínací plocha stolu	mm	1415 x 1000
Upínací plocha beranu	mm	1200 x 800
Přestavování beranu	mm	100
Zdvih/počet zdvihů	mm/min ⁻¹	210/55
Celkový instalovaný výkon	kW	18
Rozměry stroje v*š*h	m	4,1*2,3*2,2



Obr 10: Ostříhovací lis LKOA 200 [27]